

JAERI-M

6081

Na-Fe 共鳴領域における弾性除去
断面積の取扱い及び一次元コード
EXPANDA - 70 DRA

1975年3月

長谷川 明・鶴田新一郎^{*}・石黒 幸雄

この報告書は、日本原子力研究所が JAERI-M レポートとして、不定期に刊行している研究報告書です。入手、複製などのお問い合わせは、日本原子力研究所技術情報部（茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしください。

JAERI-M reports, issued irregularly, describe the results of research works carried out in JAERI. Inquiries about the availability of reports and their reproduction should be addressed to Division of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, Japan.

Na - Fe共鳴領域における弾性除去断面積の取り扱い
及び一次元コード EXPANDA - 70 DRA

日本原子力研究所東海研究所原子炉工学部

長谷川 明・鶴田新一郎*・石黒幸雄

(1975年2月15日受理)

従来の群定数セットの持つ不備を解消するために、軽中重核の共鳴領域における実効弾性除去断面積のより正確な取り扱いを行う一次元拡散臨界摂動計算コード EXPANDA - 70 DRA が開発された。計算対象領域の詳細スペクトルを均質化モデルにより、重心系非等方散乱を考慮した Recurrence Formula で純数値計算的に求め、それを重率として実効弾性除去断面積を求め直して使うという手法をとっている。

今回採られた手法と従来からの手法の差をみるために Na の Sample Worth , Na - Void 係数への効果が調べられた。その結果、両者の間には 10 ~ 15 % 程度の変動が見い出されたが、この変化量はこれら積分量への他の誤差要因たとえば重い核種の主要断面積の評価による差、摂動領域における摂動 flux の近似精度の差による効果とほぼ同程度のものであることが判った。又実効増倍率への影響は 0.05 % 以下であり現時点ではそれ程問題とならない。

Treatment of the Elastic Removal Cross Sections in Na-Fe Resonance Region
and One-Dimensional Code EXPANDA-70DRA

Akira HASEGAWA, Shin-ichiro TSURUTA* and Yukio ISHIGURO

Division of Reactor Engineering, Tokai, JAERI

(Received February 15, 1975)

Code EXPANDA-70DRA has been developed to remove a drawback encountered when calculating effective elastic removal cross sections using a cross-section set. It is designed to treat exactly the effective elastic removal cross sections in the resonance energy regions of light and medium-weight nuclides. The procedure is as follows: The fine-group spectrum of each region (the region as homogeneous) is obtained by purely numerical calculation using a recurrence formula, considering the anisotropy up to P_1 component in the center of mass system. The effective removal cross sections are then calculated by using the fine group spectrum as a weight function, and finally the one-dimensional diffusion criticality or perturbation calculation is performed.

In order to see the difference between this exact treatment and the ordinary table-look-up method, some integral quantities such as sample worth of Na and Na-Void reactivity coefficient are studied. The differences of 10~15% exist between these two methods in the calculations of both Na-sample and Na-Void reactivity coefficient. The values are, however, the same as those produced by the differences among evaluated nuclear data for the primary cross sections of heavy nuclides, or among the treatments of fluxes in the perturbed region. The influence on the effective multiplication is 0.05% at most which is no problem at present.

* Present Address

Nippon Information Service Co., Ltd., Chiyoda-ku, Tokyo.

目 次

1. 序 論	1
2. Recurrence Formulaによる詳細Weight Fluxの解法と計算の手続き	3
2.1 計算法の概略	3
2.2 詳細Weight Spectra計算の際の断面積	7
2.3 実効弹性除去断面積の計算	8
3. 一次元拡散コードへの組み込み及びテストランによる手直し	10
3.1 最終的組み込みの完了したコード EXPANDA 70 DR のブロック・フローチャート	10
3.2 代表的炉心組成による Test Run による手直し	10
a) 代表的炉心領域での取り扱い例	10
a-1 Na, Fe の共鳴エネルギー領域について	10
a-2 酸素の共鳴エネルギー領域について	11
b) 外套部領域での取り扱い例 (^{238}U 等の重い核種が多量に存在している領域における問題点)	12
3.3 重い核種の実効弹性除去断面積の取り扱いについて	12
3.4 EXACT PERTURBATION の取り扱いについて	12
4. 各種積分量に対するより正しい弹性除去断面積の取り扱いによる効果	21
4.1 FCA-V-II 炉心における Na-Sample Worth の解析	21
a) スペクトルの差異	21
b) 重い核種の断面積の評価データの差による差異	22
c) Σ_{er} の取り扱い方の差による ($\delta k/k$) への効果	22
d) 実効増倍率への Σ_{er} の取り扱いの差による効果	22
e) ($\delta k/k$) の各 component の差異	22
4.2 ZPR-III-48 炉心における Na-Void 効果についての解析	23
a) スペクトルの差異 (Σ_{er} の取り扱い方法による)	23
b) 重い核種の断面積の評価データの差による差異	23
c) Σ_{er} の取り扱い方の差による ($\delta k/k$) への効果	23
d) 実効増倍率への Σ_{er} の取り扱いの差による効果	24
e) 摂動領域の flux の変動の取り扱いによる効果	24
f) ($\delta k/k$) の各 component にみる Σ_{er} の取り扱いの差異による効果	24
5. 結 論	32
謝 辞	33
文 献	33

付 錄

A 1. 追加及び変更したサブルーチンについて	34
1. より正確な弾性除去断面積の取り扱いの為の変更点	34
A サブルーチンについての変更	34
B 新設 File の参照関係	35
2. EXACT PERTURBATIONによる取り扱いの為の変更点	35
A サブルーチンについての変更	35
B 新設 File の参照関係	35
A 2. 入力形式の変更点について	37
A 3. 出力形式の追加変更点について	39
A 4. System Requirement 及び JOB CONTROL CARDについて	40
A 5. Overlay Structureについて	43
A 6. 使用にあたってのコードの制限事項	44
A 7. 使 用 例	46

1. 序 論

これまで高速炉の核特性解析や設計計算には、多群群定数^{1), 2), 3)}が広範囲に使用されて来た。ところが、弾性除去断面積に関しては少数の適当なパラメータで組成依存性及びエネルギー依存性から来る効果を表わすことは極めて困難であることが知られている。弾性除去断面積の取り扱いの問題では、ゆるやかなエネルギー依存性を示す核種のみから計算対象とする領域が成り立っている場合にはそれ程問題はない。この問題はナトリウム、鉄、ニッケル、酸素といったかわりピークも大きくかつ幅の広い共鳴核種が体系内に存在する場合に特に重要となる。それはこれらの共鳴構造を持つ中重核種の実効弾性除去断面積が高速炉の 100 keV ~ 1 keV の領域の中性子のエネルギースペクトルの決定に重要な役割を果すからである。従ってその取り扱いの正否がもろに Na-Void 係数や、Doppler 係数といった高速炉の安全性にとって重要なパラメータに大きく影響すると考えられる。

一方詳細ベクトル計算コードを用いて、群幅を lethargy 幅で 0.01 程度にして、詳細スペクトルを組成依存性のある対象炉心そのものについて求め、それから得られる flux をウエイトとして実効断面積を求める手法を探るならば（例えば MC⁴⁾など）、計算時間は非常にかかるとしても、実効弾性除去断面積の取り扱いについてはほぼ EXACT な取り扱いが可能となるわけである。ところで核設計のサーベイ計算を時間のかかるこのような方法で毎回行うわけにはいかない。

先にも述べたように、従来からの群定数セットを用いて、より正確な実効弾性除去断面積をテーブルから簡単に求めることができないため、他の方法でもってより正確な実効弾性除去断面積を計算する必要がある。それには、対象領域でのみより正確な Flux を詳細に求め、その求められた Flux を重みとして求める実効断面積を計算する方法がより現実的である。従って、対象としている組成領域の詳細 flux をいかに求めるかが問題となる。それらの方法として、純数値的に減速方程式を recurrence formula^{5), 6)} によって解く方法、連続減速理論により解く方法⁷⁾、実効的を lethargy を定義したとして解析的に解く⁸⁾ 方法等があり、それぞれ単純な問題についての応用が報告されている。

ここでは、このコードの一般的な使用も考えて、精度を落さず、計算時間もそれ程増えない純数値的に減速方程式を Recurrence Formula により解く方法を採用した。その際、後々までの使用を考えて、重心系非等方散乱を考慮した大久保らにより発表された⁶⁾ Recurrence Formula を使用した。

我々の今回の取り扱いの概略を記す。我々の対象はあくまでも Na 冷却の高速炉である。従って、代表的な高速炉炉心組成に多く含まれ、かつ共鳴核種でもある冷却材の Na、構造材の Fe、高エネルギー域 ($\sim 1 \text{ MeV}$) で大きくてかつ非等方性の強い散乱を示す酸素（酸化物燃料）の三核種のみを共鳴散乱核種として取り扱った。その三核種については、散乱断面積は ENDF/B-III⁹⁾ のデータを用いて作成した細かい構造を持った断面積として与えた。その共鳴三核種について、散乱以外の反応の断面積及び共鳴核種以外の核種の断面積については、70 群構造の群内一定の JAERI-Fast set の断面積を使用している。詳細 weight flux を求

めるエネルギー域は、酸素の共鳴エネルギー域、ナトリウム、鉄の共鳴エネルギー域のみで各組成領域毎に均質化した断面積を用いて Recurrence Formula により詳細 weight flux を求めている。この求められた詳細 flux を重率として、実効断面積を求め直す手法を探っている。更に、このようにして求められた実効的を除去断面積を一次元拡散コードに引き渡して、一連の核特性計算を行なえるように改めた。その際、従来行なわれていた非擾動中性子束を使用する First Order Perturbation (F.O.P) の他に、擾動中性子束を使用する Exact Perturbation (E.P) も行なえるように改めた。それは、擾動領域での中性子束の取り扱いに起因する問題点を明らかにする為でもある。これらの詳しい取り扱いは 2 章、 3 章でとりあげられている。更に 4 章において、以上述べた、より正確な弹性除去断面積の取り扱い方にによる積分量への効果ということで、 Na-Void 係数等への効果を他の変動要因とも合わせて解明する。

以上の取り扱いの全般にわたって、対象はあくまでも弾性散乱除去断面積であり、非弾性散乱の断面積の取り扱いは全く考慮していない。

2. Recurrence Formulaによる詳細 Weight Fluxの解法と計算の手続き

今回我々が採用した、 \bar{O} , Na, Fe の共鳴領域における詳細 Weight spectrum の計算方法は、純数値的に波速方程式を解く、解法的には EXACT な、いわゆる Recurrence Formula と呼ばれる方法である。その際、 \bar{O} の共鳴散乱のようにかなり高いエネルギー領域の散乱については、重心系での散乱の非等方性を無視することが出来ないため、従来の P_0 のみの取り扱いとは異り、大久保らによって発表された重心系における非等方散乱を考慮した減速方程式の Recurrence Formula による解法⁶⁾ を採用した。

以下、計算方法の概容と計算の手続きについて述べる。

2.1 計算法の概略

計算方法の詳細については大久保らの文献⁶⁾ を参照されたい。ここでは、計算の筋道を概略する。

均質媒質において Buckling を B^2 とした場合の P_1 方程式は

$$\left\{ \begin{array}{l} \Sigma_t(u) \phi_o(B, u) + B \phi_1(B, u) = \sum_j \int_{u-\epsilon_j}^u \Sigma_{o,j}(u' \rightarrow u) \phi_o(B, u') du' + Q(u) \\ -\frac{3}{B} \phi_o(B, u) + \Sigma_t(u) \phi_1(B, u) = \sum_j \int_{u-\epsilon_j}^u \Sigma_{t,j}(u' \rightarrow u) \phi_1(B, u') du' \end{array} \right. \quad (1)$$

弾性散乱に基く transfer function の Legendre component は

$$\Sigma_{\ell,j}(u' \rightarrow u) = \frac{e^{u'-u}}{1-\alpha_j} P_\ell(\mu_{Lj}) \sum_{\ell'=0}^{\infty} \Sigma_{s,\ell',j}(u') P_{\ell'}(\mu_{c,j}) \quad (2)$$

$$\mu_{Lj} = \frac{1}{2} [(A_j + 1) e^{(u'-u)/2} - (A_j - 1) e^{-(u'-u)/2}] \quad (3)$$

$$\mu_{c,j} = 1 - \frac{(A_j + 1)^2}{2 A_j} (1 - e^{u'-u}) \quad (4)$$

但し $\Sigma_{s,\ell,j}(u)$ Center of Mass (C.O.M) 系での elastic angular distribution の ℓ -次の Legendre Component.

ここで C.O.M での P_1 非等方性のみ考えに入れる。

2) は

$$\Sigma_{\ell,j}(u' \rightarrow u) \cong \Sigma_{s,o,j}(u') \rho_{\ell,o,j}(u' \rightarrow u) + \Sigma_{s,t,j}(u') \rho_{\ell,t,j}(u' \rightarrow u) \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \rho_{\ell\ell',j}(u' \rightarrow u) & \quad (\ell, \ell' = 0, 1) \\ & = \frac{e^{u'-u}}{1-\alpha_j} P_\ell(\mu_{Lj}) P_{\ell'}(\mu_{c,j}) \quad u' - \epsilon_j \leq u \leq u' \quad \} \\ & = 0 \quad \text{Otherwise} \end{aligned} \quad (6)$$

1) の方程式系を group equation になおす。その際計算を行うエネルギー範囲を等レザージ幅 (Δu) のメッシュに切る。その時、 Δu の決定に際しては、軽中重核の共鳴散乱においてそのエネルギー域でのスペクトルの大幅な変動を十分表わしうるだけ小さくとらねばならない。そうした状態でのその Δu 内の ϕ 、 Σ の変動を無視してしまうことにする。結局 1) の方程式系を Δu について積分して、group flux ϕ_0^k, ϕ_1^k を求めると、

$$\phi_0^k = \frac{(\Sigma_t^k - \Sigma_1^{k \rightarrow k})(S_0^k + Q^k) - B \cdot S_1^k}{\Delta^k} \quad (7)$$

$$\phi_1^k = \frac{(\Sigma_t^k - \Sigma_0^{k \rightarrow k})(S_1^k) - (\frac{B}{3})(S_0^k + Q^k)}{\Delta^k}$$

$$\Delta^k = (\Sigma_t^k - \Sigma_0^{k \rightarrow k})(\Sigma_t^k - \Sigma_1^{k \rightarrow k}) + \frac{B^2}{3} \quad (8)$$

$$S_\ell^k = S_{\ell 0}^k + S_{\ell 1}^k \quad (\ell = 0, 1) \quad (9)$$

$$S_{\ell \ell'}^k = \sum_j \int_{u_{k-1}}^{u_k} du' \int_{u_{k-1}}^{u_k} du \Sigma_{s \ell' j}(u') \rho_{\ell \ell' j}(u' \rightarrow u) \phi_\ell(B, u') \quad (10)$$

self-scattering の項は

$$\begin{aligned} \Sigma_{\ell \ell}^{k \rightarrow k} &= \sum_j \sum_{\ell'=0,1} \Sigma_{s \ell' j}^k \int_{u_{k-1}}^{u_k} du' \int_u^{u_k} du \rho_{\ell \ell' j}(u' \rightarrow u) / \Delta u \\ &\equiv \sum_j \sum_{\ell'} P_{\ell \ell' j}^0 \cdot \Sigma_{s \ell' j}^k \end{aligned} \quad (11)$$

但し $P_{\ell \ell' j}^0$ は self-scatter の確率

この具体的な形は

$$\begin{aligned} \rho_{00j}(u' \rightarrow u) &= \eta_1 e^U \\ \rho_{01j}(u' \rightarrow u) &= \eta_2 [(A+1)^2 e^{2U} - (A^2 + 1) e^U] \\ \rho_{10j}(u' \rightarrow u) &= \eta_3 [(A+1)^2 e^{\frac{3}{2}U} - (A-1) e^{\frac{U}{2}}] \\ \rho_{11j}(u' \rightarrow u) &= \eta_4 [(A-1)(A^2+1) e^{\frac{U}{2}} \\ &\quad + 2A^2(A+1) e^{\frac{3}{2}U} + (A+1)^3 e^{\frac{5}{2}U}] \end{aligned}$$

但し $U = u' - u$

$$\eta_1 = \frac{1}{1-\alpha}$$

$$\eta_2 = \frac{3}{2A(1-\alpha)}$$

$$\eta_3 = \frac{1}{2(1-\alpha)}$$

$$\eta_4 = \frac{3}{4A(1-\alpha)}$$

以上から

$$\begin{aligned}
 P_{00j}^n &= \eta_1 f_n(1) \\
 P_{01j}^n &= \eta_2 [(A+1)^2 f_n(2) - (A^2+1) f_n(1)] \\
 P_{10j}^n &= \eta_3 [(A+1) f_n(\frac{3}{2}) - (A-1) f_n(\frac{1}{2})] \\
 P_{11j}^n &= \eta_4 [(A-1)(A^2+1) f_n(\frac{1}{2}) \\
 &\quad - 2A^2 (A+1) f_n(\frac{3}{2}) + (A+1)^3 f_n(\frac{5}{2})]
 \end{aligned}$$

ここで

$$f_n(a) = \begin{cases} \frac{1}{a^2 \cdot \Delta u} (e^{-a\Delta u} - 1 + a\Delta u) & \text{for } n = 0 \\ \frac{1}{a^2 \cdot \Delta u} (1 - e^{-a\Delta u})^2 e^{-a(n-1)\Delta u} & \text{for } n \neq 0, L \\ \frac{\alpha^a}{a^2 \cdot \Delta u} (e^{a\Delta u} - 1 - a\Delta u) & \text{for } n = L \end{cases}$$

以上まとめると、Scattering Source を 9), 10) にて計算して、7) 式を解いて近似 Weighting Spectrum が求まることがある。

その際、Scattering Source 9), 10) の計算が一番問題となる。ここでは、recurrence formula を使ってこの Source を計算時間もそれ程かからず core memory もかからない計算法を導出する。

$$\text{今 } L_j = \frac{\epsilon_j}{\Delta u}$$

L_j 整数 ; group 幅の整数倍

(但し、コード上では $L_j = \lfloor \ell_0 \left(\frac{A+1}{A-1} \right)^n \rfloor / \Delta u + 0.5$, 中性子が対象原子核 (j)
1 個と衝突して最大に減速される group 数。又逆に α_j を L_j から逆定義する。)

減速の源 (10) を多群の形で表わすと

$$S_{\ell\ell'}^k = \sum_j \sum_{n=1}^L P_{\ell\ell'j}^n S_{\ell\ell'j}^{k-n} \phi_{\ell}^{k-n} \quad (12)$$

但し

$$P_{\ell\ell'j}^n = \begin{cases} \frac{1}{\Delta u} \int_{u_0}^{u_0 + \Delta u} du \int_{u_0 - n\Delta u}^{u_0 - (n-1)\Delta u} du' \rho_{\ell\ell'j}(u' - u) & n \neq L_j \\ \frac{1}{\Delta u} \int_{u_0}^{u_0 + \Delta u} du \int_{u - L_j \Delta u}^{u_0 - (L_j - 1)\Delta u} du' \rho_{\ell\ell'j}(u' - u) & n = L_j \end{cases} \quad (13)$$

$$u_0 = u_{k-1} \quad (13')$$

このとき

$$\sum_{n=0}^{L_j} P_{00j}^n = 1.0 \quad (14)$$

$$\sum_{n=1}^{L_j} P_{\ell\ell'j}^n \equiv 0 \quad \text{for } \ell \neq 0 \quad (15)$$

又、前にも示したように

$$P_{00j}^n = AP_{00j}^{n-1} \quad (1 < n < L_j) \quad (16)$$

$$P_{01j}^n = BP_{01j}^{n-1} - CP_{01j}^{n-2} \quad (2 < n < L_j) \quad (17)$$

$$P_{10j}^n = DP_{10j}^{n-1} - EP_{10j}^{n-2} \quad (2 < n < L_j) \quad (18)$$

$$P_{11j}^n = FP_{11j}^{n-1} - GP_{11j}^{n-2} + HP_{11j}^{n-3} \quad (3 < n < L_j) \quad (19)$$

但し

$$A = e^{-\Delta u} \quad B = e^{2\Delta u} + e^{-\Delta u} \quad (20)$$

$$C = e^{-3\Delta u} \quad D = e^{-\frac{3}{2}\Delta u} + e^{-\frac{1}{2}\Delta u} \quad (21)$$

$$E = e^{-2\Delta u} \quad F = e^{-\frac{1}{2}\Delta u} + e^{-\frac{3}{2}\Delta u} + e^{-\frac{5}{2}\Delta u} \quad (22)$$

$$G = e^{-2\Delta u} + e^{-3\Delta u} + e^{-4\Delta u} \quad H = e^{-\frac{9}{2}\Delta u} \quad (23)$$

以上の $P_{\ell\ell'j}^n$ についての (16) ~ (19) の Recurrence Relation を使って、散乱の Source についての Recurrence Formula は次のようになる。

$$\begin{aligned} S_{00}^k = & AS_{00}^{k-1} + \sum_j [P_{00j}^{-1} \cdot F_{00j}^{k-1} \\ & + (P_{00j}^{Lj} - A \cdot P_{00j}^{Lj-1}) \cdot F_{00j}^{k-Lj} - A \cdot P_{00j}^{Lj} \cdot F_{00j}^{k-Lj-1}] \end{aligned} \quad (24)$$

$$\begin{aligned} S_{01}^k = & BS_{01}^{k-1} - CS_{01}^{k-2} \\ & + \sum_j [P_{01j}^{-1} F_{01j}^{k-1} + (P_{01j}^{-2} - B \cdot P_{01j}^{-1}) F_{01j}^{k-2} \\ & + (P_{01j}^{Lj} - B \cdot P_{01j}^{Lj-1} + C \cdot P_{01j}^{Lj-2}) F_{01j}^{k-Lj} \\ & + (C \cdot P_{01j}^{Lj-1} - B \cdot P_{01j}^{Lj}) F_{01j}^{k-Lj-1} \\ & + C \cdot P_{01j}^{Lj} \cdot F_{01j}^{k-Lj-2}] \end{aligned} \quad (25)$$

$$\begin{aligned} S_{10}^k = & DS_{10}^{k-1} - ES_{10}^{k-2} \\ & + \sum_j [P_{10j}^{-1} F_{10j}^{k-1} + (P_{10j}^{-2} - D \cdot P_{10j}^{-1}) F_{10j}^{k-2} \\ & + (P_{10j}^{Lj} - D \cdot P_{10j}^{Lj-1} + E \cdot P_{10j}^{Lj-2}) \cdot F_{10j}^{k-Lj} \\ & + (E \cdot P_{10j}^{Lj-1} - D \cdot P_{10j}^{Lj}) \cdot F_{10j}^{k-Lj-1} \\ & + E \cdot P_{10j}^{Lj} F_{10j}^{k-Lj-2}] \end{aligned} \quad (26)$$

$$\text{但し, } F_{\ell \ell' j}^k \equiv \sum_s t_j^k \phi_s^k$$

(24)式～(26)式のこうした取り扱いにおいては、 $L_j > 2$ を考えている。ところで、例えば ^{238}U , ^{239}Pu , ^{235}U のようを重い核種を考えた場合、 $\Delta u = 0.0085$ の今回のenergy meshの切り方においては、上の条件は満足されない。従って、これら重い核種については(12)式をそのまま計算するような取り扱いを計算コードの中でしている。この場合、(12)式をそのまま計算するような取り扱いを行っても、計算時間は(24)～(26)の Recurrence Formula を使うのとほとんど大差はない。

以上示したように、詳細Weight Spectrumを求める際には、計算を始めるエネルギーの上で適当な数の group 数 (L_j の最大値以上)だけ、初期値として $\phi_0 = 1.0$, $\phi_1 = 0$ の constant flux を仮定して解き始める群の Source を Recurrence Formula により求めると。次に求まつた Source をもとに(7)式を解き ϕ_0 , ϕ_1 を求める。更にこの手続きをくりかえして計算するエネルギー域全てについての ϕ_0 , ϕ_1 を求める。

2.2 詳細 Weight Spectra 計算の際の断面積

詳細Weight spectra の計算においては、 Δu に対応した全核種についての詳細な micro 断面積 (σ_t , σ_{s0} , σ_{s1}) が必要となる。ここでは、かなり幅の広い共鳴散乱による体系内の flux の変化による効果を中心と考えているため、共鳴核種の散乱以外の断面積はほとんどフラットを構造を持たないものとみなして、JAERI-Fast 70 群^{2), 3)} の群内一定の断面積を使用している。

共鳴核種とここでみなしている O, Na, Fe の散乱断面積のみ ENDF/B-III⁹⁾ の data をもとに File 2 の Resonance Parameter と File 3 の smooth part から $\Delta u = 0.0085$ の lethagy width をもつた群の切り方での細まかい構造を持った断面積を求めて使用している。

共鳴核種中でも O については、かなり高いエネルギーでの共鳴散乱があり重心系での非等方散乱が極めて強く無視できないことから、O についてのみ σ_{s1} を考慮し、他の共鳴核種 Na, Fe については重心系等方散乱のみ考慮している。特に Fe については σ_s について ENDF/B-N を調べてみても 300 keV 以下では、弾性散乱断面積に対する角度分布は重心系等方となっている。又 Na については、30 keV 以下では重心系等方であり、それ以上のエネルギー域で重心系非等方となっているがその (30 keV ~ 70 keV) 非等方性はかなり小さいと考えられるため Na-Fe の resonance energy region (70 keV ~ 1 keV) での取り扱いでは重心系非等方散乱は考慮していない。

以上まとめると、

◎O の共鳴領域 (2 MeV ~ 250 keV)

$$\left\{ \begin{array}{l} \Sigma_t(E) = N^{\bar{o}} (\bar{\sigma}_t^{\bar{o}} - \bar{\sigma}_e^{\bar{o}} + \sigma_s^{\bar{o}}(E)) + \sum_{x \neq \bar{o}} N^x \cdot \bar{\sigma}_t^x \\ \Sigma_{s0}(E) = N^{\bar{o}} \cdot \sigma_s^{\bar{o}}(E) + \sum_{x \neq \bar{o}} N^x \cdot \bar{\sigma}_e^x \\ \Sigma_{s1}(E) = N^{\bar{o}} \cdot {}^1\sigma_s^{\bar{o}}(E) \end{array} \right.$$

但し $\bar{\sigma}^x$: x : 核種 i, d

$\bar{\sigma}$: JAERI-Fast 70 群の群内一定の断面積 (Eに相当する群の値をとる)。

$$\begin{array}{ll} t & \text{total} \\ s, e & \text{Scattering} \\ \overline{O} & \text{酸素の index} \end{array} \quad \left\{ \begin{array}{l} s \quad \Delta u = 0.0085 \text{ の詳細な断面積} \\ e \quad \text{JAERI-Fast set } \Delta u = 0.025 \text{ の} \\ \text{平均断面積。} \end{array} \right.$$

$\sigma_s(E)$: $\Delta u = 0.0085$ の詳まかい構造を持った共鳴断面積

◎ Na, Fe の共鳴領域 (70 keV ~ 1 keV)

$$\Sigma_t(E) = N^{Na} (\bar{\sigma}_t^{Na} - \bar{\sigma}_e^{Na} + \sigma_s^{Na}(E))$$

$$+ N^{Fe} (\bar{\sigma}_t^{Fe} - \bar{\sigma}_e^{Fe} + \sigma_s^{Fe}(E))$$

$$+ \sum_{x \neq Na, Fe} N^x \cdot \bar{\sigma}_t^x$$

$$\Sigma_{s0}(E) = N^{Na} \cdot \sigma_s^{Na}(E) + N^{Fe} \cdot \sigma_s^{Fe}(E) + \sum_{x \neq Na, Fe} N^x \cdot \bar{\sigma}_e^x$$

$$\Sigma_{s1}(E) = 0$$

2.3 実効弹性除去断面積の計算

以上のようにして求めた近似Weighting Flux をWeightとして、組成中の各核種の散乱断面積についてWeightし直して実効的な弾性除去断面積を求める。その際、後段での使用を考えてshielding factorの形で求める。

$$f_{e,r,1}^{M,N} = \frac{\frac{\sum_{i \in N} \sum_{j \in N+1 \text{ or } +2} \sigma_s^{i \rightarrow j} \phi^i}{\sum_{i \in N} \phi^i}}{\frac{\sum_{i \in N} \sum_{j \in N+1 \text{ or } +2} \sigma_s^{i \rightarrow j} \Delta u_i}{\sum_{i \in N} \Delta u_i}}$$

M 核種 identification

N broad energy group number suffix

1 次群への散乱

2 2群先への飛びこし散乱

$\phi^i \equiv \int_{\Delta u_i} \phi(u) du$

又、酸素の共鳴領域の0の実効散乱断面積、鉄、Naの共鳴領域のFe、Naの実効散乱断面積については、その領域で与えている詳細な構造を持つ散乱断面積 ($\sigma_s^M(E)$)を今解いた近似Weight spectrumでWeightしなおして求めた値を使っている。

$$f_e^{M,N} = \frac{\sum_{i \in N} \sigma_s^M(i) \phi^i}{\sum_{i \in N} \phi^i}$$

以上のようにして、定義される計算対象の領域を構成している全核種についての $f_{er}^{M,N}$ を求め、共鳴核種の $f_e^{M,N}$ を求めて、一次元コードへと入っていく。

3. 一次元拡散コードへの組み込み及びテ스트ランによる手直し

ここで述べる内容は2章で述べた取り扱いによる弾性除去断面積のより正確を取り扱い方法¹⁰⁾を、これまで高速炉用のサーベイ計算にかなりひんぱんに使われてきた EXPANDA-70 D¹⁰⁾に組み込むことにより、JAERI-Fast Set^{2),3)}の持つ弱点の一つを解消していくこうとするものである。

まず、組み込みに際しての計算の大雑把なブロックフローについて概略する。次いで組み込み終了後の代表的炉心組成によるテスト計算の結果について述べ、その際出て来た種々な問題点についてふれ、その処置について述べる。

3.1 最終的組み込みの完了したコード EXPANDA-70 DR のブロック・フローチャート

3.2 以降で述べるテ스트ランの結果による修正作業も完了した最終的な、Recurrence Formula により軽中重核の共鳴エネルギー領域における弾性除去断面積についてより正確な取り扱いを行うコード EXPANDA-70 DR のブロック・フローチャートを図 3.1.1～3 に示す。又計算の流れを図 3.1.4 に示す。

計算の流れは図示する通りのものであるが、組み込みに際しての各サブルーチンの変更、追加、各サブルーチンの機能、コードの使用法、制限事項等の詳細については Appendix A.1～A.7 を参照されたい。

3.2 代表的炉心組成による Test Run による手直し

以下では、代表的な炉心組成として、原研 FCA にて実験された FCA-V-II 炉心¹¹⁾を例にとり、Test 計算を行った際に明らかになつた事項について特記する。主に、炉心部及び外套部における Recurrence Formula にて解いた詳細 Weight flux と、一次元コードによる解 flux との比較を中心をおく。

a) 代表的な炉心領域での取り扱い例

a-1 Na, Fe の共鳴エネルギー領域について

FCA-V-II¹¹⁾ 炉心における炉心領域での Na, Fe の共鳴エネルギー域 (70 keV～1 keV)において、Recurrence Formula により解いた flux と一次元コードにより解かれた flux の比較を図 3-2.1 に示す。図中、実線の smooth なグラフは、Recurrence Formula により解いた詳細 Weight flux を示し、それを更に 70 群の群分けに従って平均化したものと 1 点鎖線の階段状の線で示す。次いで、従来からの弾性散乱除去断面積の取り扱いにより一次元コード (EXPANDA-70 D) で解いた、この領域の flux を 70 keV で規格化したものを点線の階段状の線で示す。又弾性除去断面積について、Recurrence Formula により解いた詳細 Weight flux を重みとしたより正確な取り扱いによる一次元コード (EXPANDA-70 DR) による解 flux を 70 keV で規格化したものを実線の階段状の線で示す。

いずれのケースについても、解かれた flux を全体的に見た場合、その傾きは似かよつたものであり、現実に炉内で実現している flux にかなり近いものが得られているものと考え

られる。各共鳴の部分についての細かい部分についてはかなりの差がみとめられる。特に、弾性除去断面積についての従来からの取り扱いと、今回のより正しい取り扱い方法では、この共鳴の存在する部分で顕著に表われている。しかも、その領域における Recurrence Formula による flux と、より正しい取り扱いに基く EXP 70 DR による一次元コードの解 flux との一致はよりよくなっていることがわかる。

以上のようにして得られた、実際の flux をかなりよく表わしていると考えられる詳細 Weight flux を用いて求めを出した実効弾性除去断面積は、従来の TABLE LOOK UP により求めた値と較べてどのように変へているか。それを図 3-2.2, 図 3-2.3, に示す。図にあっては、Na, Fe の実効弾性除去断面積について f (shielding factor) の形での比較を行っている。一点鎖線が実験室系等方散乱のみの場合の値で、実線が重心系等方 (Buckling としては、 $B^2 = 3.5 \times 10^{-5}$ というかなり大きな値を仮定している。) 又、点線が従来からの TABLE LOOK UP に基く値である。

従来からの取り扱いにおいては、図から明らかなように自分自身のエネルギー域を除いてはほとんど f -factor は 1.0 であり、詳細 Weight flux を用いて求めたより正しい取り扱いに基くものの方がその領域に含まれる他の断面積の共鳴の影響による flux の歪にもとづく効果が入っているのがよく表われている。共鳴エネルギー部分での f -factor は従来の取り扱いと、新しい取り扱いとでは factor 2 近い差が出ている。

以上示したようを炉心の場合、すなわち、燃料、冷却材、構造材がそれぞれコンパラブルに入っている炉心組成についての、Recurrence Formula により得られた flux は、一次元コードで得られる flux にかなり近く、炉内で実現されている flux をよく表わしていると考えられる。従って、このようを炉心領域においては、冷却材、構造材による slowing down のみで flux が規定されると考えてよく、ここでの fissioned neutron や inelastic slowing down を無視している Recurrence Formula による取扱いでもかなりよい結果がえられていると考えられる。

a-2. 酸素の共鳴エネルギー領域について

a-1) にて取りあげた炉心組成における酸素の共鳴領域（特に非等方性の強い）についての Recurrence Formula による解 flux (近似Weight Flux) (図 3-2.4 参照) と一次元コード (EXPANDA-70 D) で計算された解 flux (図 3-2.5 参照) とを比較してみると、はっきり分るように明らかに傾向が逆になってしまっている。

この 1 MeV 前後のエネルギー域においては、分裂中性子及び非弾性散乱による source が極めて重要な領域であり、上記二つの source を全く無視している我々の取り扱い方法の不備によるものである。

従って、このエネルギー領域の詳細に解いた flux は現実に炉内で実現されている flux とは異っており、このように異っている flux を Weight として実効弾性除去断面積を求めても無意味をため、EXPANDA-70 DR の標準の Option では、この領域の弾性除去断面積の再計算を行なわないように改めている。(もちろん、強制的に計算させることもできるようになっている。)

b. 外套部領域での取り扱い例 (^{238}U 等の重い核種が多量に存在している領域における問題点)

^{238}U が多量に組成に含まれる領域（特に Blanket 領域）についての詳細計算による詳細 Weight flux と一次元コード¹⁰⁾（EXPANDA-70 D）で解いた flux の比較を図 3.2-6 に示す。両者の flux は傾きを全く異にしているのがわかる。Recurrence Formula による解 flux の減衰の方が極めて大きく、エネルギーが 1 衍下るにつれて、flux は 4 衍も下がっている。これだけの flux の傾きの差は実効弹性除去断面積にかなりの差を生じさせる原因になっている。

炉内の外套部で実現されている flux は EXPANDA-70 D の一次元コードで解いた flux により近いと考えられている。この両者の大幅な差は、この領域に含まれている ^{238}U の非弹性散乱断面積の影響である。a-1) で述べたような炉心領域では軽中重核種による slowing down が大きな割合を占めており、弹性散乱のみを考慮した場合でも（inelastic fission の source を無視した場合）かなりうまく現実の flux を再現したわけであるが、ここで取り上げている外套部領域のように重い核種で（elastic slowing down の少い）しかも大きい非弹性散乱を持つ ^{238}U が多量に含まれている領域においては、今回の elastic scattering による source のみを考慮する取り扱い方法では十分に現実の flux を再現しているとはいえない。

現実の flux を表わしていない近似 Weight flux を用いて実効断面積を求めるることは全く無意味のため、このような領域においての弹性除去断面積の再計算は、標準の Option では行なわないように改めている。但し、強制的に計算させることも Option によりできる。

3.3 重い核種の実効弹性除去断面積の取り扱いについて

重い核種については（ ^{235}U , ^{239}Pu は 10 keV 以下, ^{238}U , ^{240}Pu では 21.5 keV 以下のエネルギー域）、JAERI-Fast Set³⁾ では、弹性除去断面積についての self-shielding factor for の TABLE が用意されている。この作業に当っては、群平均の断面積を計算するに当って、Weight flux として各々について代表的な高速炉組成の中重核種を仮想的に入れており、それにより詳細な構造を持つ断面積を Weight して求めている。近似的には軽中重核の効果は入るが精度はそれ程よくない。

一方、今回の計算では、群内一定の平均断面積（重い核種の共鳴の fine structure を無視）を組成依存性の入ったより精確な Weighting flux で Weight している。いずれの方がよりよいか決めかねるが、ここでは一応再計算して求めた実効弹性除去断面積を使用するという方法をとった。

3.4 EXACT PERTURBATION の取り扱いについて

従来からの一次擾動（First Order Perturbation : F.O.P.）の取り扱いにおいては、擾動の導入に対して、中性子束、随伴中性子束の変動は無視できるという小さい擾動の場合のみを考えているわけであり、広域の Na-Void 係数のように擾動領域がかなり大きくかつ擾動量もかなり大きな計算を F.O.P. で行なうのは問題を余りに単純化てしまっているくらいが

ある。

これだけ大きい擾動になると当然、擾動による flux 変動も考慮しなくてはならないはずであり、F.O.P. より、より EXACT を擾動 flux を用いる EXACT Perturbation (E.P.)¹⁰⁾ も計算可能となるよう EXPANDA-70 D の改訂を行った。

即ち、従来の F.O.P. では

$$\left[\frac{\delta k}{k} \right] = \frac{\iint [\phi^*] \cdot (\delta P - \delta L) \cdot [\phi] dE dV}{\iint [\phi^*] \cdot (P') \cdot [\phi] dE dV}$$

但し k : 実効倍率

ϕ^* : 隨伴中性子束

ϕ : 中性子束

$\delta P \equiv P' - P$; P Production Operator

$\delta L \equiv L' - L$; L Loss Operator

suffix' : 摰動を表わす

擾動 flux を使用する E.P.においては

$$\left[\frac{\delta k}{k} \right] = \frac{\iint [\phi^*] \cdot (\delta P - \delta L) \cdot [\phi'] dE eV}{\iint [\phi^*] \cdot (P') \cdot [\phi'] dE dV}$$

となり、この式により計算するように計算コードを改めた。F.O.P. ; E.P. の選択は Option による。

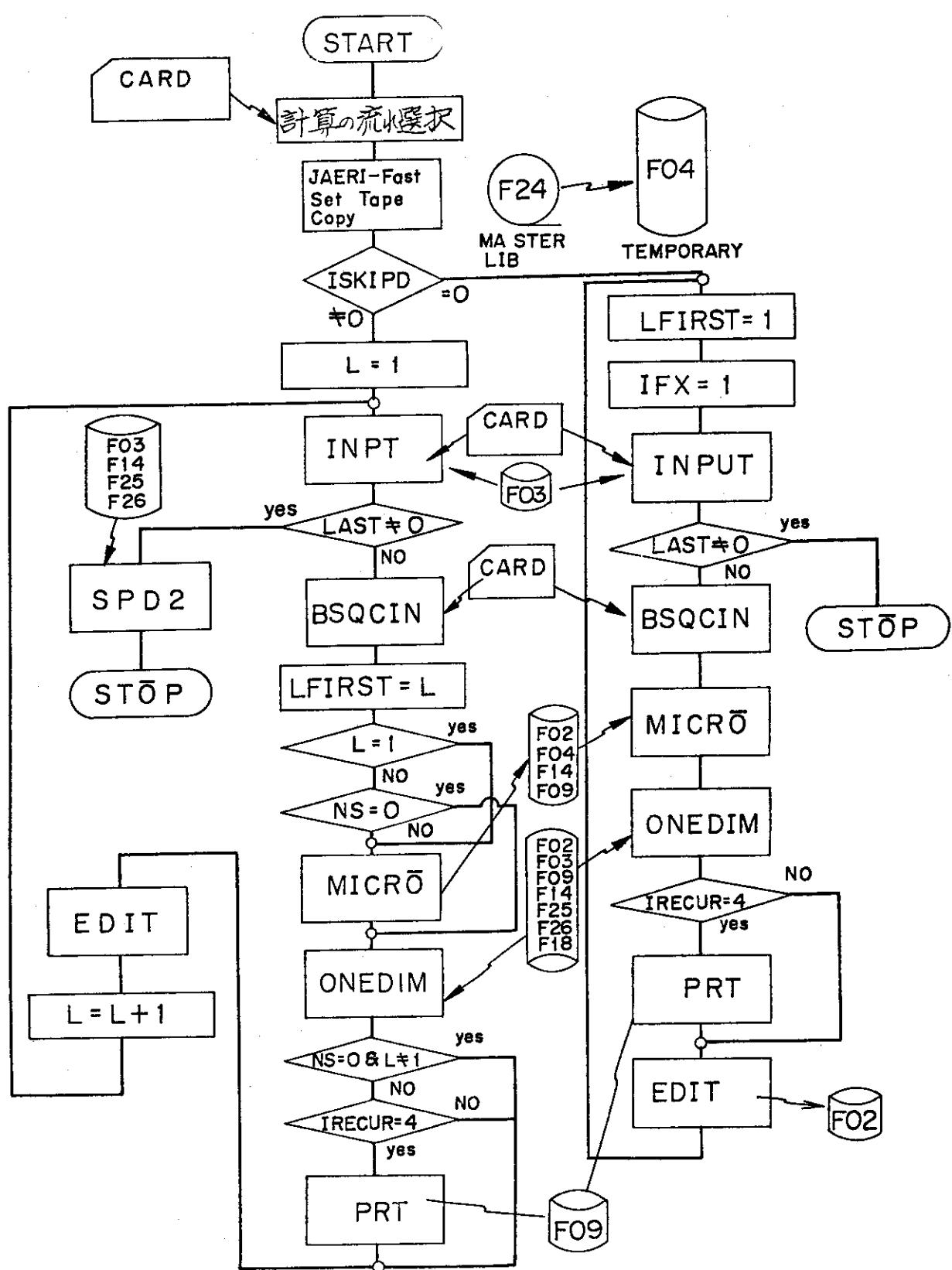


Fig. 3.1.1 Block Flow Chart of EXPANDA-70DRA Code

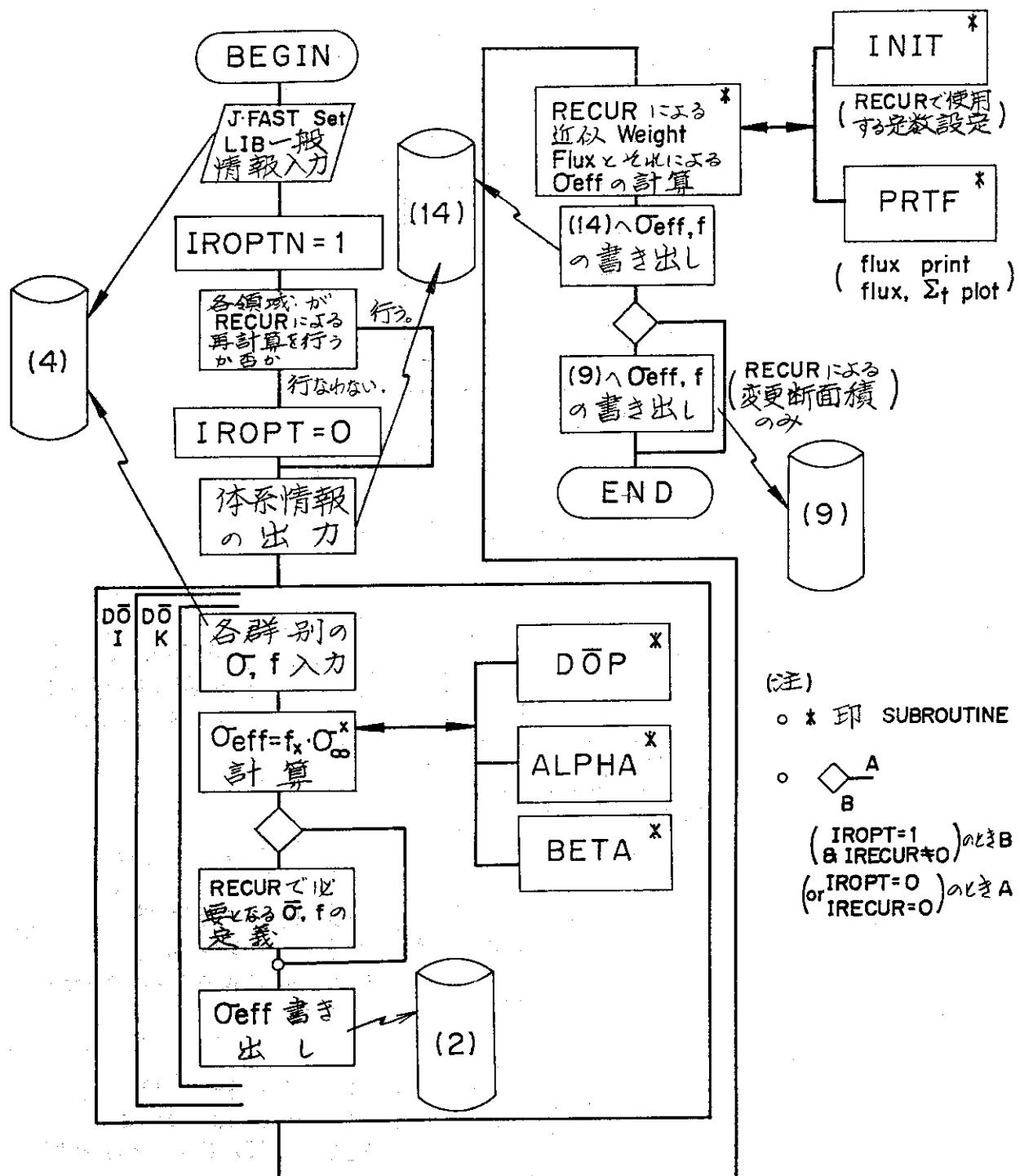


Fig. 3.1.2 Revised Flow of Subroutine MICRO.

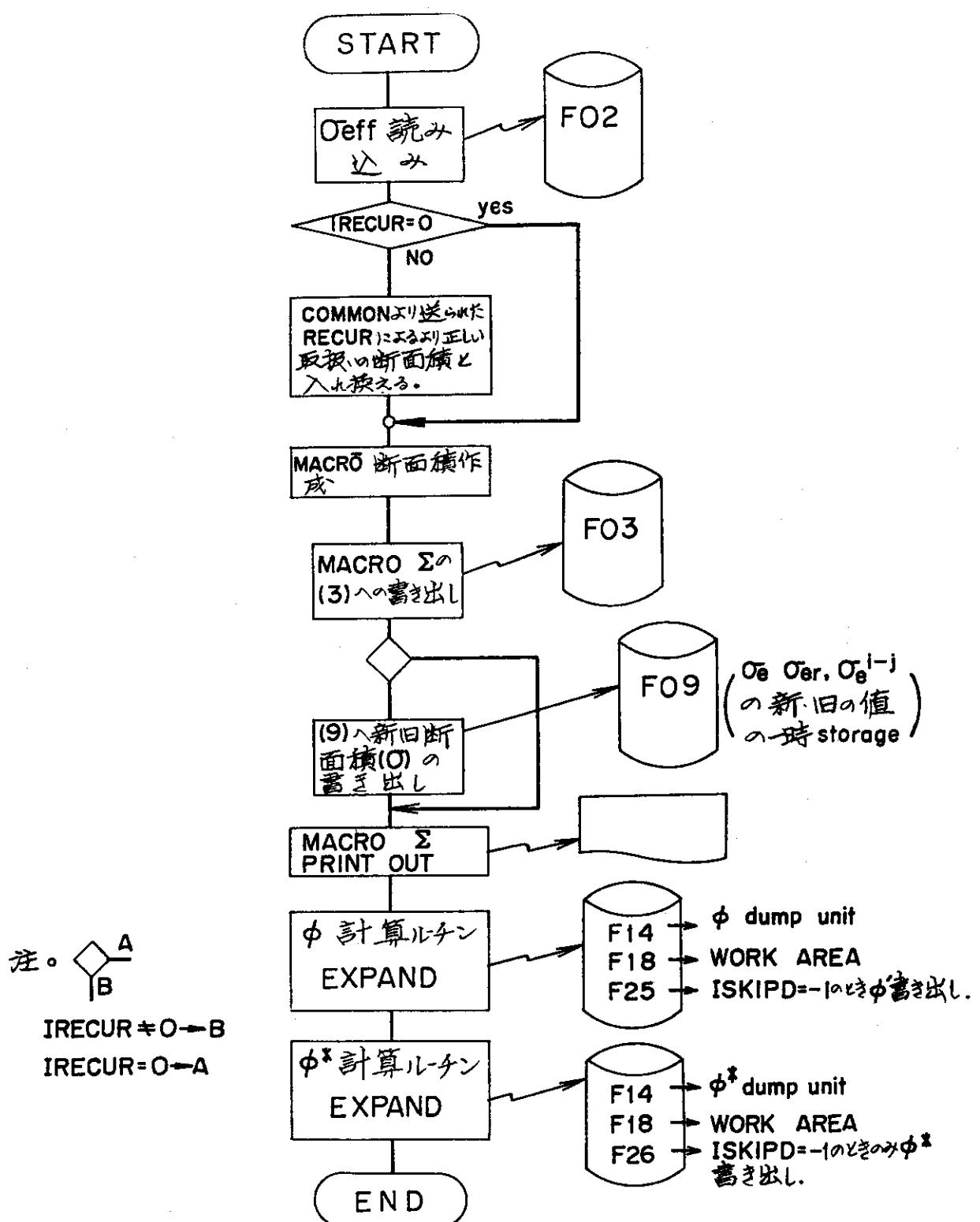


Fig. 3.1.3 Revised Flow of Subroutine ONEDIM.

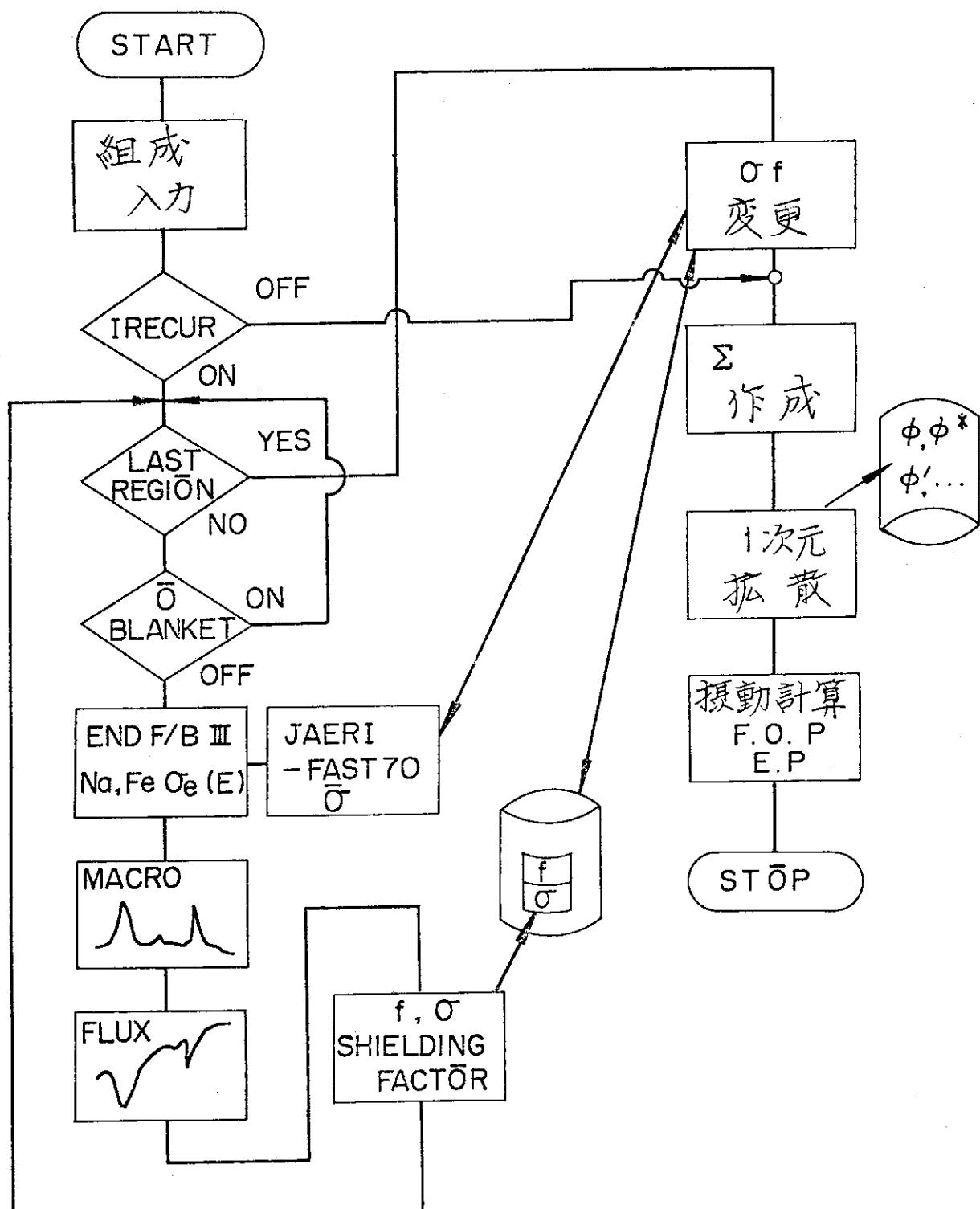


Fig. 3.1.4 Process Flow of EXPANDA-70DRA.

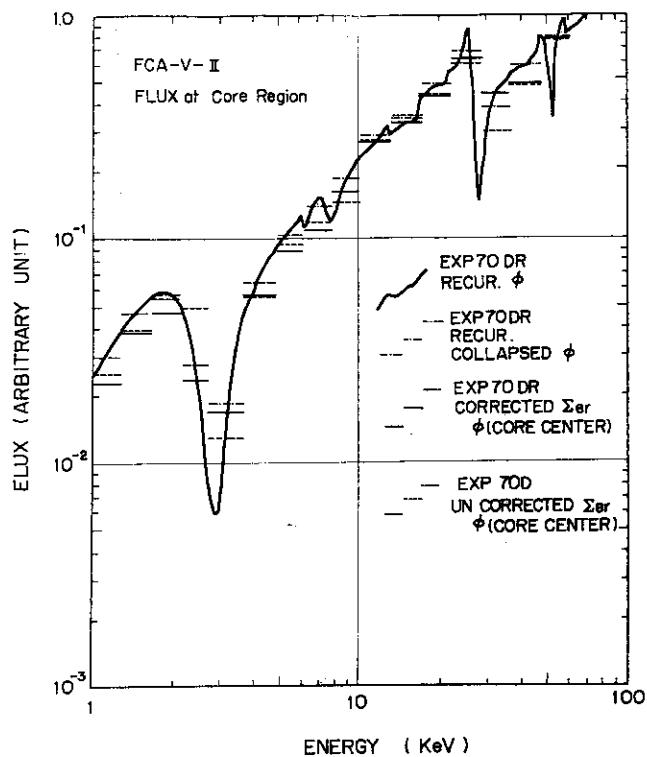


Fig. 3.2.1 Spectrum at Core Center of FCA-V-II Assembly

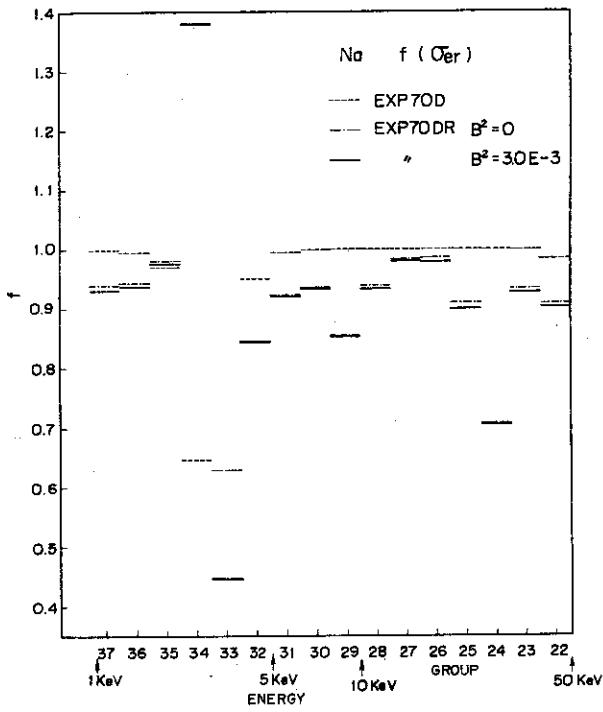


Fig. 3.2.2 Shielding Factors for Na.

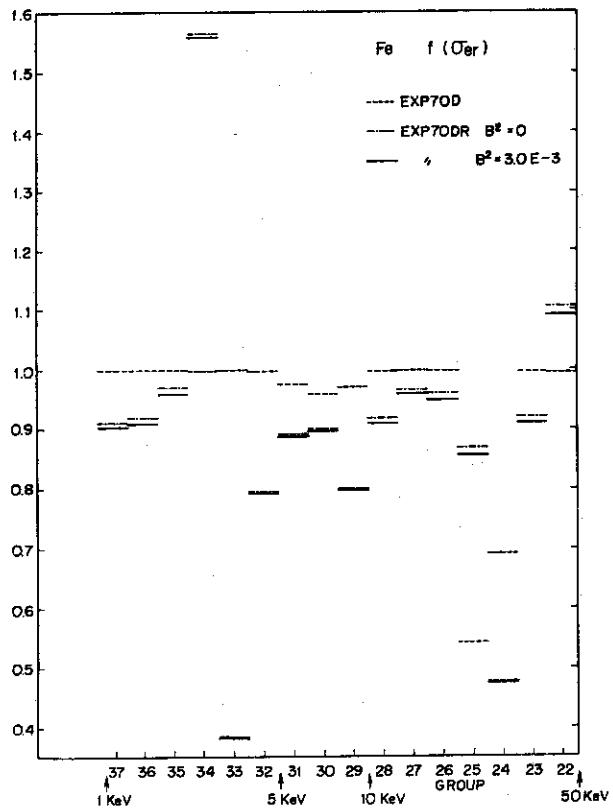


Fig. 3.2.3 Shielding Factors for Fe.

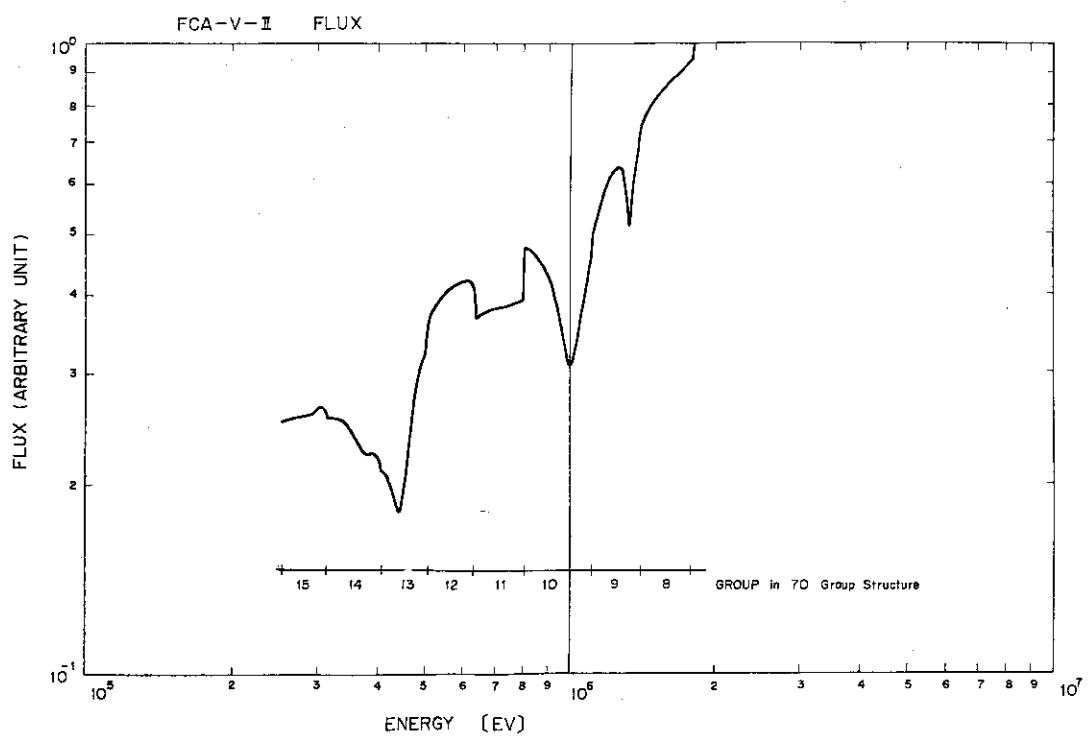


Fig. 3.2.4 Spectrum at Core Region of FCA-V-II Assembly in the Resonance Energy Region of Oxygen.

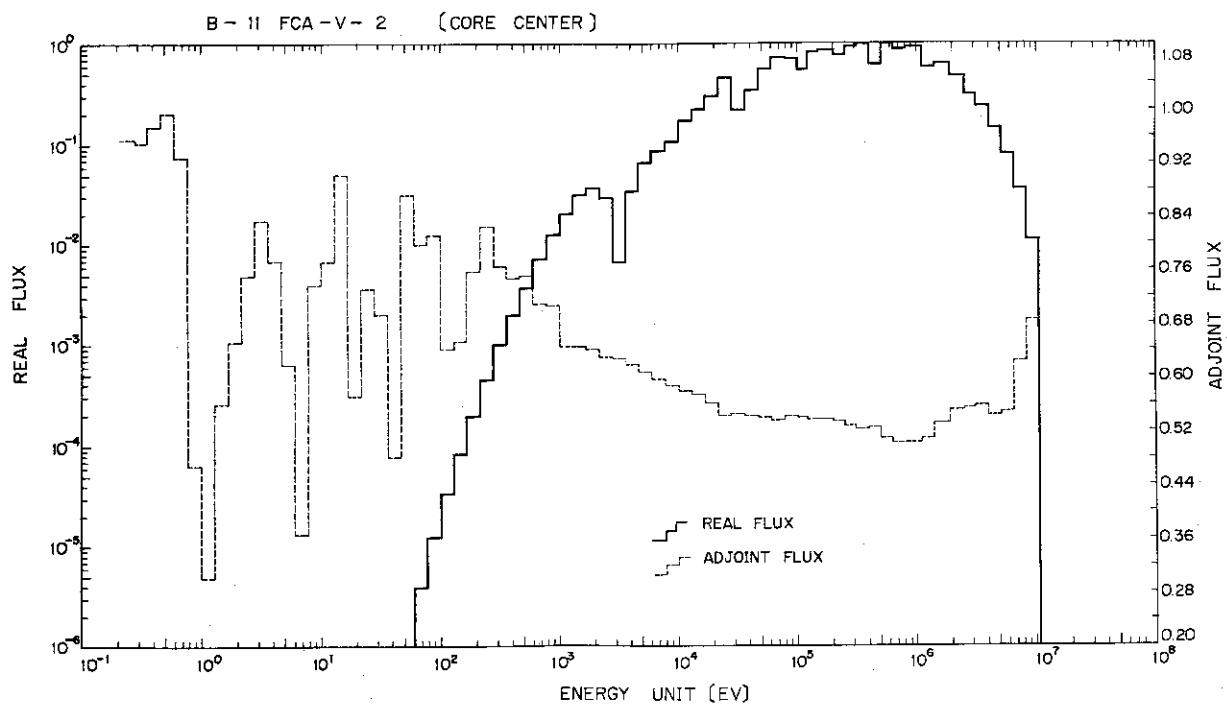


Fig. 3.2.5 Flux at Core Center of the FCA-V-II Assembly.

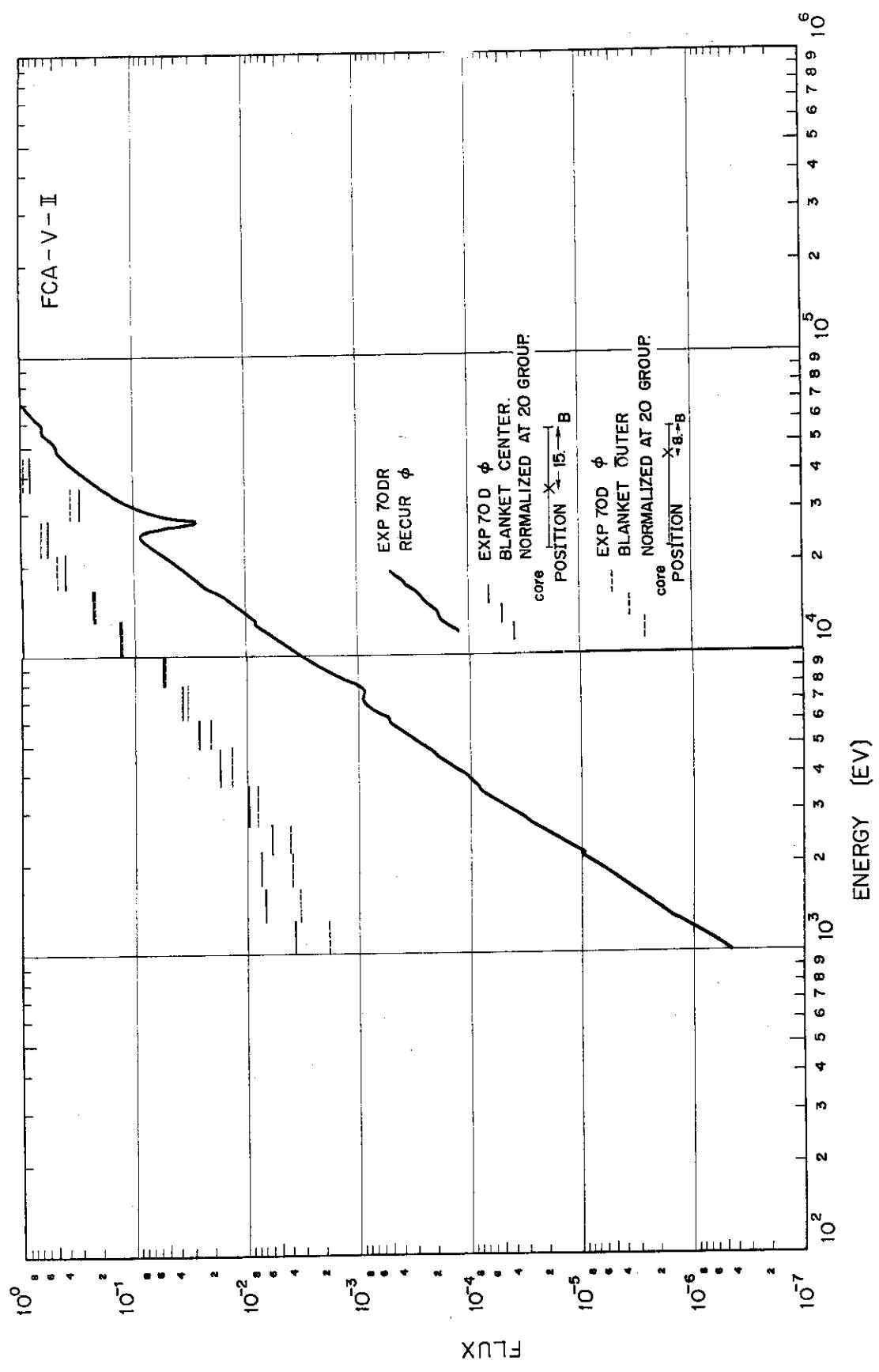


Fig. 3.2.6 Spectra of FCA-V-II Assembly in the Blanket Region.

4. 各種積分量に対するより正しい弾性除去断面積の取り扱いによる効果

以上のような形で、より正しい取り扱いに基く弾性除去断面積を用いて、一次元拡散モデルに基く臨界及び摂動計算が行えるコード EXPANDA-70 DR (A)が開発整備された。今回ここで取り扱われたより正しい実効弾性除去断面積の取り扱い方法と従来からの取り扱い方法の各種積分量への効果を検討するため、主に、実効倍率、炉内の spectrum の変化、Na の Sample Worth、Na-Void 係数についての解析を行った。

ここで Na を主として取り上げたのは、一般的な高速炉の核設計計算を主眼にしているため Na-Void 係数が、高速炉の安全性にとって極めて重要なパラメータとなっていること、Na 自体の大きさ Resonance の取り扱い方法の差によりかなりの差異が群平均された断面積に生じると考えられること、それは更に炉内スペクトルへの差異をかなりもたらすと考えられるからである。

更に、ここでの弾性除去断面積の取り扱いの差異が、それら積分量への他の変動要因、特に体系を規定する重い核種 ($U-235 \sigma_f$, $Pu-239 \sigma_f$, $U-238 \sigma_c$ 等) の断面積の不確定さから来る効果、摂動計算における摂動領域の flux の取り扱いの差による効果等と比較してどの程度のものか知る必要があるため、これらの変動要因をも含めた総合的なサーベイ計算を行った。

計算した体系はかなり硬い系として FCA-V-II 廉心¹¹⁾と、大型炉を模擬した軟い系の ZPR-III-48¹²⁾ 廉心について行った。特に前者については Na の Sample Worth について、後者では Na-Void 係数についての解析を行った。

4.1 FCA-V-II 廉心における Na-Sample Worth の解析

Na の Sample Worth の解析に当っては、通常の core dilution にての First Order Perturbation の計算によっている。これは、摂動が極めて小さいという暗黙の仮定によっている。即ち、Sample Size の効果の補正 (flux の depression を含む)、multiple scattering の効果の補正等の補正済のデータについての解析であるということによる。

比較主要項目は以下の通り。

- a) スペクトルの差異 (Σ_{er} の取り扱い方法による)
- b) 重い核種の断面積の評価データの差による差異
- c) Σ_{er} の取り扱い方の差による ($\delta k/k$) への効果
- d) 実効倍率への Σ_{er} の取り扱いの差による効果
- e) ($\delta k/k$) の各 component の差異

結果を表 4-1.1 に示す。

a) スペクトルの差異

図 3-2.1 で示したように、より正しい Σ_{er} の取り扱いに基く EXPANDA-70 DR にて解いた Fe-Na の Resonance の領域の廉心中心部での Flux (図中実線で階段状の表示) と従来の TABLE LOOK UP による fe を使用している flux (図中点線の階段状の表示) と

は、Fe, Na の共鳴領域においてかなり大幅な差異がみられる。一般に共鳴エネルギー点を境にして、エネルギーの高い方ではより正しい取り扱いに基く flux の方が高く、エネルギーの低い方ではその傾向は逆になっているのがわかる。特に 2.85 keV の Na の共鳴領域では、 Σ_{er} の取り扱い方の差により flux に約 2 倍強の差を生じているのがわかる。結局、これら Σ_{er} の取り扱い方法の差に基く弾性除去断面積の差異が flux に影響を及ぼし更に各種の積分量へと影響を及ぼして行くわけである。

b) 重い核種の断面積の評価データの差による差異

今までに我々の研究室で改訂されてきた JAERI-Fast Set の改良^{2), 3)} ^{15), 16)} に沿って、Na, Fe の断面積のみ ENDF/B-III⁹⁾ の data と改めた（この理由は共鳴核種として Recurrence Formula で詳細 Weight flux を解く際に詳細な構造を持つ断面積として与えているものと同一にして取り扱うためである。） set についての比較を行っている。

表 (4.1.1) 中, O, T, I の各 set については、重い核種の断面積は JAERI-Fast Original Version (71.4), II の set については Benchmark test による least square fit からの 1974.1 の Temporary Version¹⁴⁾ 又 set III は Benchmark test による least square fit (前者とは条件が多少変っている) からの recommended value の 1974.6 Version¹⁴⁾ で現在一番新しい Version である。これらの set で変更されている断面積は、²³⁸U σ_c , ²³⁹Pu σ_t , ²³⁵U σ_t のみである。今回の解析に当っては Pu 系の炉心を取り上げているため、それら set 間での断面積の変動を ²³⁸U σ_c については図 4-1.1 に、又 ²³⁹Pu σ_t について図 4-1.2 に示す。これらの変動幅は、測定断面積データの統計解析¹⁵⁾ から得られる許容変動幅内に入っている。即ち、測定 data のバラツキの 1σ (標準偏差値) 内に入っているということであり、この程度の断面積データの変更は十分ありうる。そして、こうした変更が Na の Sample Worth の C/E 値を 0.5 ~ 0.3 までかえており体系を規定する重い核の主要断面積の差による効果がかなり大きいことがわかる。

c) Σ_{er} の取り扱い方の差による ($\delta k/k$) への効果

表 (4.1.1) 中各 set による方法の差 (D, R) の欄の C/E 値をみてもわかるように、より正しい取り扱いによるものと従来からの方法との差はどの set をとっても 10 % 前後であり、しかも皮肉なことにより正確を取り扱い (R) の方が C/E 値は悪い方向へ向いていることがわかる。

取り扱い方法はより正確になっているはずであるからこの不一致の原因は別の所にあるものと思われる。

d) 実効増倍率への Σ_{er} の取り扱いの差による効果

実効増倍率 (k_{eff}) に対する Σ_{er} の取り扱い方法の違いによる差異 (R, D) は、各 set について 0.01 ~ 0.04 % で極めて小さい。従って、実効増倍率のみに着目していく計算においては、 Σ_{er} の取り扱いでは従来からの取り扱いによっても何らさしつかえないと考える。

e) ($\delta k/k$) の各 Component の差異

表 (4.1.1) 中の各 Component の欄から、従来からの Σ_{er} の取り扱い方法と、今回より正確を取り扱いの間の ($\delta k/k$) への差異は、 Σ_R (elastic removal component) と Σ_a (Capture Component) から来ていることがわかる。変化の割り合いは、 Σ_R の Component

からの効果の方がより大きい。flux の変化を通してくる Σ_a Component の変化はそれ程顕著でない。これは、ここで取り上げている計算体系が極めて硬い系であるということによっている。Na の共鳴の部分での従来の Σ_{er} の取り扱いと今回の取り扱いの間の flux 变化はもちろん大きいわけであるが、そのエネルギー部分からの寄与が極めて小さくなっていることによる。

4.2 ZPR-III-48 廉心における Na-Void 効果についての解析

4.1 で取り上げた体系は極めて硬い体系であったが、今回とりあげる ZPR-III-48 廉心¹²⁾ の系は 1000MWe の廉心を模擬したかなり軟い体系である。計算対象は Na- の Void 係数であるので、4.1 で述べた Sample Worth の計算と異り、広域の Void Region を設けての実験であるため、擾動量もかなりの値となり、擾動域での flux の変動を全く無視する F.O.P の計算方法にはかなりの問題がある。そのため擾動領域での flux の変動を EXACT にとり入れて計算を行う EXACT PERTURBATION 及び DIRECT k CALCULATION による解析も併せて行った。ここでも、4.1 の比較項目による比較を行っていく。結果を表4.2.1 に示す。

a) スペクトルの差異 (Σ_{er} の取り扱い方法による。)

Recurrence Formulaにおいて解かれた廉心領域の Na-Fe の Resonance Energy 域の flux 及び 1 次元コード EXPANDA-70 D (従来の Σ_{er} の取り扱い方法)、及びより正しい Σ_{er} の取り扱いに基く (EXPANDA-70 DR) flux をそれぞれ 70 keV の group で規格化したものを図 4-2.1 に示す。

明らかにより detail を部分については Recurrence Formula で解いた flux の傾向は 1 次元コードでとかれたものと異っている部分もあるが全体的にみた場合の傾向としての一致はよい。EXPANDA-70 D と 70 DR とで解かれた flux は共鳴の Peak 付近で大幅に異っているのがわかる。これは、この部分の Σ_{er} 断面積が両者で大幅に異っていることを表わしている。具体的に数値でみてみると、従来の取り扱いによる σ_{er} と今回のより正しい取り扱いに基く σ_{er} を Na, Fe の 2 核種について shielding factor の形で比較したものである図 3-2.2, 図 3-2.3 に極めて近いものとなっている。他の核種の共鳴による Weighting flux の歪を通しての shielding factor への効果がはっきり出ていることがわかる。(図は FCA-V-II の体系に対するものであるがその傾向は ZPR-III-48 についてもほとんど等しい。)

b) 重い核種の断面積の評価データの差による差異

前の 4.1 での取り扱いの時と同様、set による Na-Void 係数の差は大きい。計算方法を同一にして見た場合、従来の Σ_{er} の取り扱いによる F.O.P (表示 D) の計算では set I, II, III で C/E は 1.97, 1.63, 1.81 又、より正しい Σ_{er} の取り扱いによる F.O.P (表示 R) の計算では C/E は 1.75, 1.33, 1.55 となっている。10 % ~ 25 % の差が生じている。

c) Σ_{er} の取り扱い方の差による ($\delta k/k$) への効果

C/E 値を各 set (I, II, III) 及び各方法毎 (F.O.P, E.P, DK の R と D についての比較) に比較してみる。従来からの取り扱い (D) による方法とより正しい取り扱いによる方法 (R) とでは、どれもほぼ 1~5 % 前後の変化幅となっている。前節 4.1 の Sample Worth の計

算の場合とは異り C/E 値はより正しい取り扱いを行った方がよくなる傾向にある。

d) 実効増倍率への Σ_{er} の取り扱いの差による効果

実効増倍率 (k_{eff})への Σ_{er} の取り扱い方法の違いによる差異 (R, D) は各 set, 各計算方法について 0.01 ~ 0.04 %と前と同様に小さい。

e) 摂動領域の flux の変動の取り扱いによる効果

摂動領域がこの広域 Na-Void 実験のように広範囲になり、加わる摂動もかなり大きいものになってくると flux の変動による効果が無視できなくなってくるものと思われる。その効果を評価するために、flux 変動を全く無視した F.O.P.; 摂動 flux を使用する E.P.; flux 変動を完全にとり入れて実効増倍率の差から直接求める Direct k Calculation の三方法について、断面積データについては set III に固定して計算を行った。

その結果、C/E 値は F.O.P (R) で 1.55, E.P (R) で 1.35, D.K (R) で 1.21 との値となり、摂動領域における flux の変動 (摂動) 効果のとり入れ方によても 10 % 程度の効果は容易にもたらされることがわかる。又、この結果では flux の変動の効果をとり入れる程 C/E 値はよりよい方向に向いている。

f) ($\delta k/k$) の各 Component による Σ_{er} の取り扱いの差による効果

($\delta k/k$) に対する各 Component についての検討を行う。F.O.P の場合の case を見ていくとすぐわかるように、 Σ_R (Removal Cross Section) の Component の差は D と R の間ではそれ程表われてはいないが、 Σ_c (Capture Cross Section) の Component の方に差が顕著に表われているのがわかる。一見してこれは大変奇妙に見える。先に示したように、70 D と 70 DR では Σ_{er} の取り扱い方法は大幅に異っており、断面積にして共鳴のピーク付近では 2 倍前後の差がでている (図 4-2.1 参照)。従って Σ_R の Component の方にかなり大幅な変化が予測されるわけである。一方 Capture Cross Section についてみてみると、この方については σ の変化は 70 D, 70 DR の間にプロセスの差は全くないため、これ程の大きな変化は予測外のことであるわけである。次いでこれらの現象の背景を調べていく。

イ) Σ_a の Component について

Na の Void 係数 ($\delta k/k$) に対する Σ_a の Component の群別の絶対値と相対値の比較を図 4-2.2 に示す。又この Component は以下の式で表わされるものである。

$$\left(\frac{\delta k}{k} \right)_{\Sigma_a} = \frac{\iint \phi \cdot (\delta \Sigma_a) \cdot \phi^* dE dV}{\iint \phi P' \phi^* dE dV}$$

$\delta \Sigma_a$ ($\equiv \delta \Sigma_c$) は EXPANDA 70 D と 70 DR では差はない。随伴中性子束 ϕ^* の変化も表 4-2.2 に示されるように 70 D と 70 DR との間に絶対値間の差はそれ程ない。結局 Na の Resonance の Peak (2.85 keV) 前後のエネルギー一群におけるコンポーネント ($\delta k/k$) Σ_a の差が極めて大きい (相対値、絶対値ともに大きい。図 4-2.2 参照) ことからその差による影響がもうに出ていることがわかる。Fe の共鳴エネルギー部分での flux の変化も又かなり大きい (前図の相対値の変動を参照) が、Na の Resonance がそこにはないため絶対値の変動はそれ程ではなく全体に対する寄与はそれ程ないことがわかる。

以上から、Na の Resonance の部分の Σ_{er} の取り扱いの差により、その部分での flux に大幅な変化が生じそれに伴いその、共鳴近傍の Capture Cross section の反応率に

大幅な変化を生じさせそれが反応度係数に大きな差異をもたらしていることが理解される。

□) Σ_R の Component からの効果について

Na の Void 係数 ($\delta k/k$) に対する Σ_R (弹性除去断面積) の Component の群別の絶対値と相対値の比較を図 4-2.3 に示す。この Component は以下の式で表わされるものである。

$$\left(\frac{\delta k}{k} \right) = \frac{\int \sum_i \phi^i (\delta \Sigma_{er}) \cdot (\phi^{*i+1} - \phi^{*i}) dV}{\int \int \phi \cdot P' \cdot \phi^* dE \cdot dV}$$

上式で ($\delta \Sigma_{er}$) は、EXPANDA 70 D, 70 DR では大幅に異っている。(特に共鳴部分では Factor にして 2 倍前後の変化を示している所もある。) 一方 ($\delta k/k$) に対する群別の寄与をみるとその $\delta \Sigma_{er}$ の大幅な変化は余り表われてはきていないことがわかる。結局 $\Delta \phi^{*i} \equiv (\phi^{*i+1} - \phi^{*i})$ の変化が $\delta \Sigma_{er}$ の変化を打ち消しあうように作用して、全体としてそれ程の変化が表われてこないような結果となっている。即ち、EXPANDA-70 D による従来からの取り扱い方法と、70 DR によるより正しい取り扱い方法による両者の炉心領域における Σ_{er} (Macro Cross Section) の差を比の形でグラフにかく(図 4-2.4 参照、図中点線)，又この Σ_{er} を使ってとかれた両者の随伴中性子束の group 間の差 $\Delta \phi^{*i}$ の比を前に書いたグラフの上に重ねると(図中実線)，これらはちょうど逆の傾向があることがわかる。さらに、これら両者をかけ合わせたもの(図中△印)は ≈ 1.0 にかなり近くなっており、結局 Σ_{er} の変動を打ち消す形で $\Delta \phi^{*i}$ が求まりそのため ($\delta k/k$) に対する Σ_R の Component にはそれ程の差が表われない結果となっている。

以上のことから F.O.P で計算する限りにおいては、 Σ_{er} のより正しい取り扱いにより Na-Void 係数の ($\delta k/k$) に対する Σ_{er} の Component への効果はほとんどないことが結論される。

逆に EXACT PERTURBATION の Perturbed flux を使った場合では、Na-Void 係数の計算においては、Void 域では Na が完全に抜けているためその状態での perturbed flux は、Na の Resonance による今回のより正しい弾性除去断面積の取り扱いの効果を考えない、従来からの取り扱いにより近くなっており、そのため Na-Void 係数への Σ_{er} の Component がより大きな効果を示している。

又表中(表 4-2.1)，より正しい弾性除去断面積の取り扱い方法をとっている R の表示の後に R1, R2 と B^2 の値をかなり大きな値をとった場合の結果を示してあるが、これは重心系等方ではあるが実験室系非等方の効果をみるために計算したものである。その効果は $B^2 = 5.0 E-3$ まで動かして 1.5 % 程度の変化でありそれ程大きいものではない。(通常の B^2 はもつとずっと小さいことから、 B^2 のとりかたによる効果はより小さいものと考える。)

Table 4.1.1 Sample Worth of Na Calculated from Several Cross Section Sets and Methods
(FCA - V - II)

SET	NO	Method	C/E	C	k_{eff}	$(\delta k/k) \text{ COMPONENT}$		
						\sum_r	\sum_a	\sum_{in}
O	1	D	0.407	0.9285	0.992653	1.5830-7	-2.6131-8	-2.2804-8
	2	R	0.363	0.8290	0.992357	1.4518-7	-2.4696-8	-2.2834-8
T	3	D	0.341	0.7790	0.991732	1.4137-7	-2.6713-8	-2.2891-8
	4	R	0.310	0.7090	0.991061	1.3158-7	-2.5163-8	-2.2897-8
I	5	D	0.312	0.7131	0.996390	1.3728-7	-3.1401-8	-2.1875-8
	6	R	0.283	0.6468	0.996235	1.2764-7	-2.9557-8	-2.1896-8
II	7	D	0.470	1.0737	0.992679	1.8242-7	-3.2555-8	-2.3387-8
	8	R	0.444	1.0135	0.992506	1.7341-7	-3.0603-8	-2.3431-8
III	9	D	0.296	0.6757	0.991281	1.4684-7	-3.2801-8	-3.4486-8
	10	R	0.260	0.5944	0.990940	1.3543-7	-3.0756-8	-3.4651-8
SET	O	JAERI-FAST	72.6 V					$C : \rho_o = 1.543 \times 10^{-7} (\frac{\delta k}{k})$
I	上	但	Na, Fe	σ_e, σ_{e-i-j}	, 22G~37G, ENDF/B-III			E = 2.284 ± 0.025
II	上	但	Na, Fe	$\sigma_{ENDF/B-III}$			Method : F.O.P	
III	上	但	Na, Fe	$\sigma_{ENDF/B-III}$, 但	J-FAST	74.1 T.V	D = EXP 70 D; R = EXP 70 DR	
			"	"	"	74.6 V		

Table 4.2.1 No-Void Reactivity Coefficient Calculated from Several Cross Section Sets and Methods
 (ZPR - III - 43)

SET NO	No	METHOD	C/E	C	k_{eff}	($\delta k/k$) COMPONENT					
						$\nu \Sigma_f$	Σ_r	Σ_a	Σ_{in}	Σ_D	SUM
I	1	F.O.PD	1.97	11.003	0.99768	-5.0450-5	-1.2847-4	2.8288-4	2.6985-4	-8.6441-5	2.8734-4
	2	F.O.PR	1.75	9.813	0.99780	-4.6844-5	-1.3149-4	2.5742-4	2.6361-4	-8.6416-5	2.5628-4
II	3	F.O.PD	1.63	9.133	1.00353	-5.3845-5	-1.7121-4	2.9485-4	2.5422-4	-8.5466-5	2.3854-4
	4	F.O.PR	1.33	7.459	1.00390	-5.0212-5	-1.8362-4	2.6874-4	2.4537-4	-8.5477-5	1.9480-4
III	5	F.O.PD	1.81	10.120	0.99407	-5.5238-5	-1.8075-4	3.0360-4	2.8170-4	-3.5009-5	2.6431-4
	6	F.O.PR	1.55	8.686	0.99416	-5.1562-5	-1.8786-4	2.7682-4	2.7446-4	-8.4994-5	2.2685-4
IV	7	E. P D	1.56	3.734	0.99407	-5.3366-5	-2.4379-4	3.2142-4	2.3642-4	-3.2598-5	2.2809-4
	8	E. P R	1.35	7.539	0.99416	-5.1142-5	-2.6237-4	3.1173-4	2.8321-4	-3.4035-5	1.9639-4
V	9	E. P R1	1.36	7.612	0.99404	-5.0795-5	-2.5900-4	3.1023-4	2.8241-4	-3.4033-5	1.9831-4
	10	E. P R2	1.37	7.662	0.99397	-5.0568-5	-2.5644-4	3.0924-4	2.8191-4	-3.4039-5	2.0011-4
VI	11	D. K D	1.43	8.029	No IN k_{eff}	= 0.99407035	No OUT k_{eff}	= 0.99427760	2.0725-4		
	12	D. K R	1.21	6.797	"	0.99415746	"	0.99433289	1.7753-4		
VII	13	D. K R1	1.23	6.871	"	0.99404159	"	0.99421893	1.7944-4		
	14	D. K R2	1.24	6.925	"	0.99396524	"	0.99414395	1.8035-4		

SET NO I: Na, Fe ENDf / B - III, OTHERS JAERI - FAST 72.6 V.
 II: Na, Fe ENDf / B - III, OTHERS JAERI - FAST 74.1 T.
 III: Na, Fe ENDf / B - III, OTHERS JAERI - FAST 74.6 V.

D : EXP 70 D D : EXP 70 D
 R : EXP 70 DR R : EXP 70 DR
 R1: EXP 70 DR R1: EXP 70 DR
 R2: EXP 70 DR R2: EXP 70 DR

F.O. P 1-st Order Perturbation
 E. P Exact Perturbation
 D. K Direct k Calculation

C : I_H / Kg $E = 5.6 \pm 0.3 \quad I_H / \text{Kg}$

Table 4.2.2 Calculated Fluxes and Adjoint Fluxes by Exact Treatment of
 Σ er Cross Sections and Traditional Table Look up Method

(ZPR - III - 48)

 ϕ^i

GROUP	ϕ^i 70 DR	ϕ^i 70 D	R / D
32	0.17887	0.17153	1.043
33	0.06557	0.04990	1.314
34	0.09288	0.15501	0.599
35	0.16003	0.16921	0.946
36	0.15067	0.14836	1.012

 ϕ^{*i}

GROUP	ϕ^{*i} 70 DR	ϕ^{*i} 70 D	R / D
32	2.6653955	2.6539169	1.0043
33	2.7285022	2.7094989	1.0070
34	2.7661184	2.7346348	1.0115
35	2.8300511	2.8352649	0.9981
36	2.9391481	2.9497316	0.9964

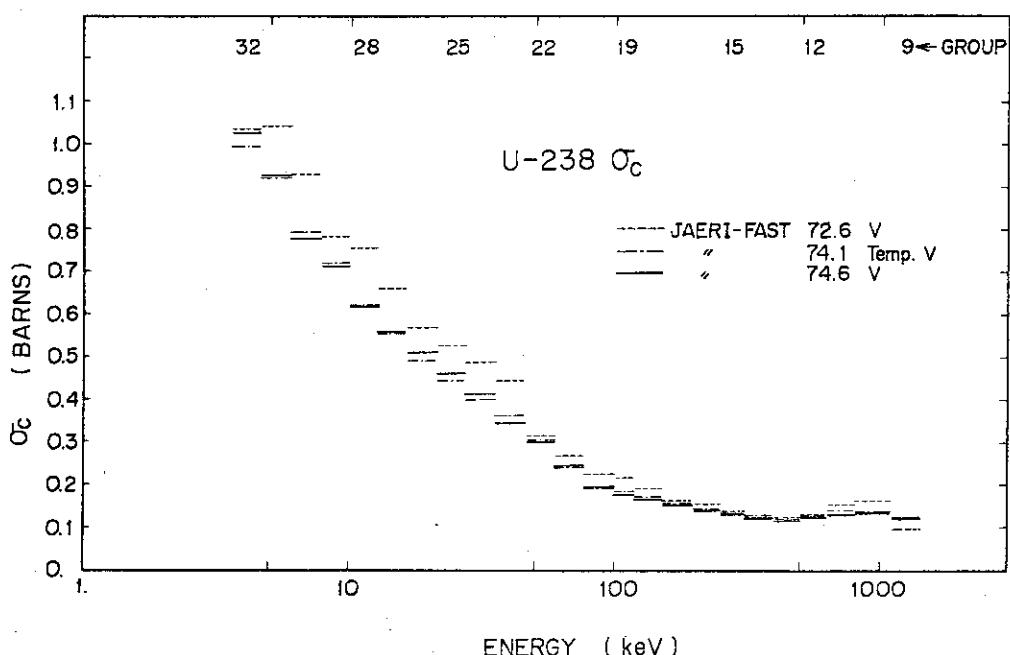


Fig. 4.1.1 Change of ^{238}U Capture Cross Sections Adopted in the JAERI-Fast Set.

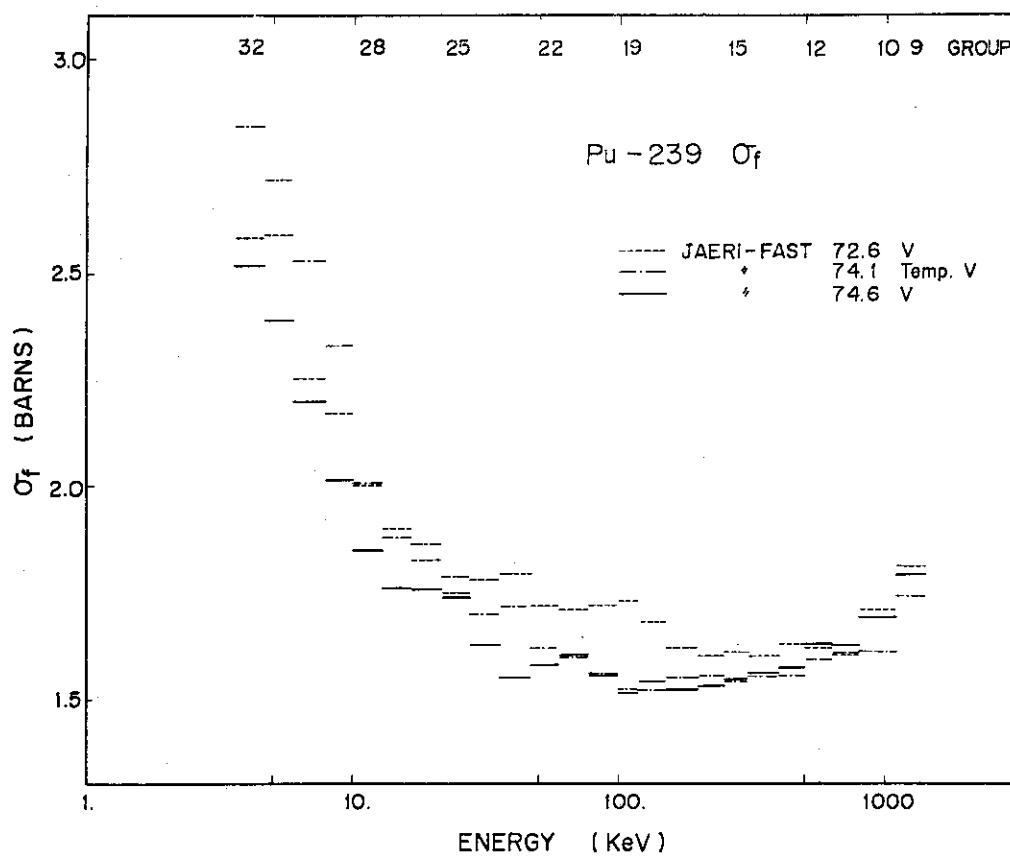


Fig. 4.1.2 Change of ^{239}Pu Fission Cross Sections Adopted in the JAERI-Fast Set.

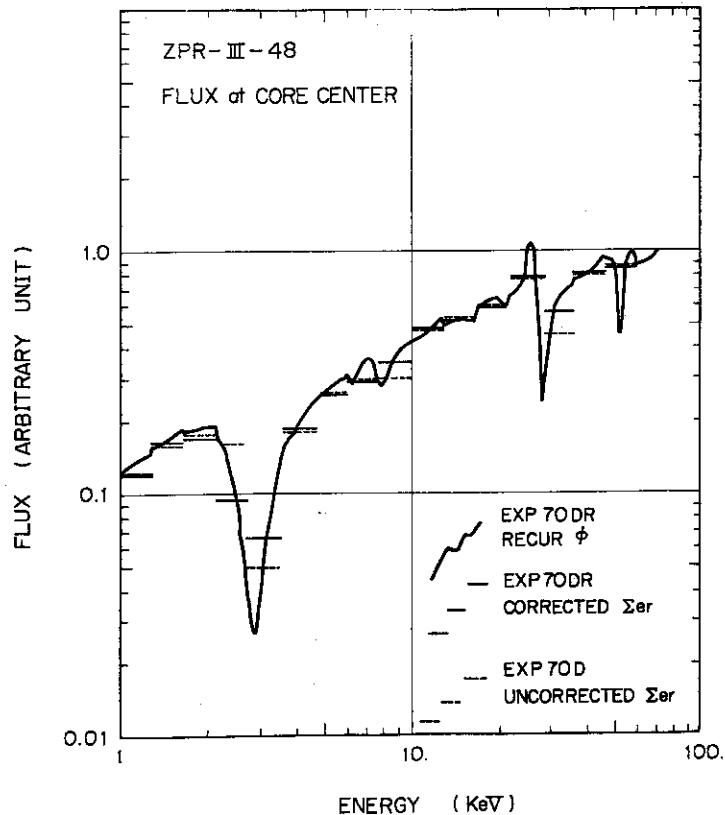
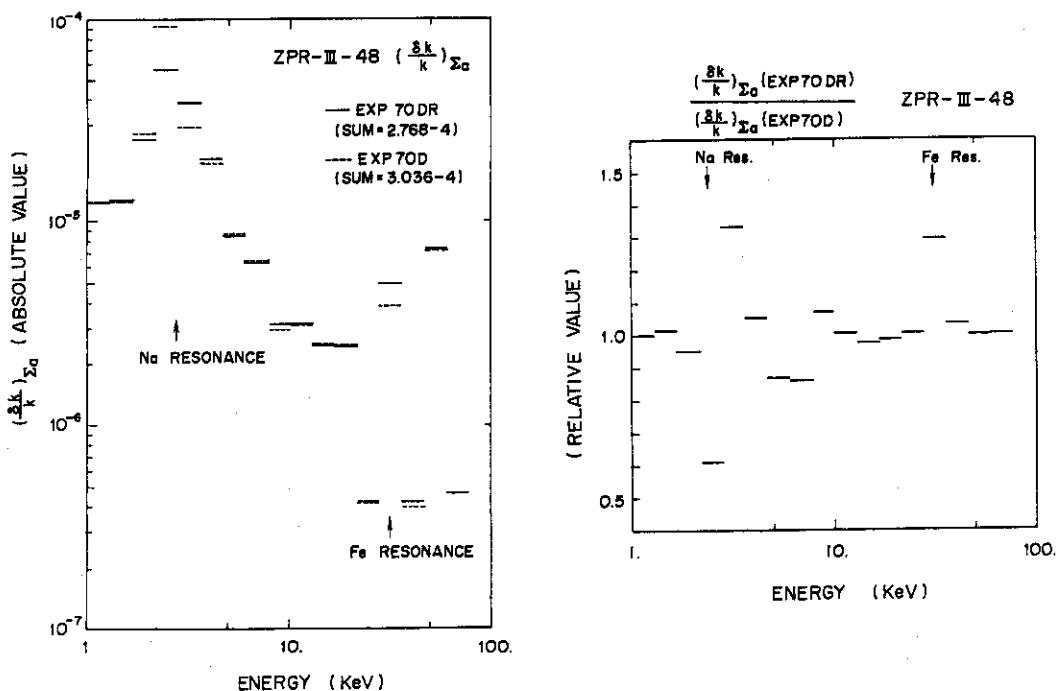
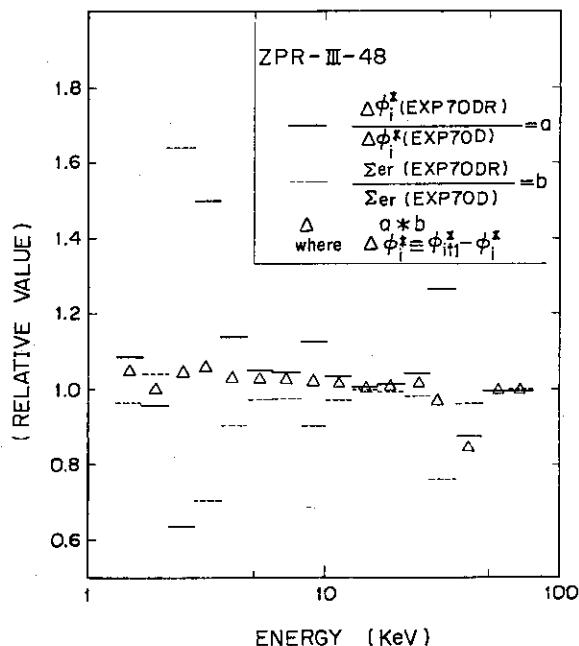
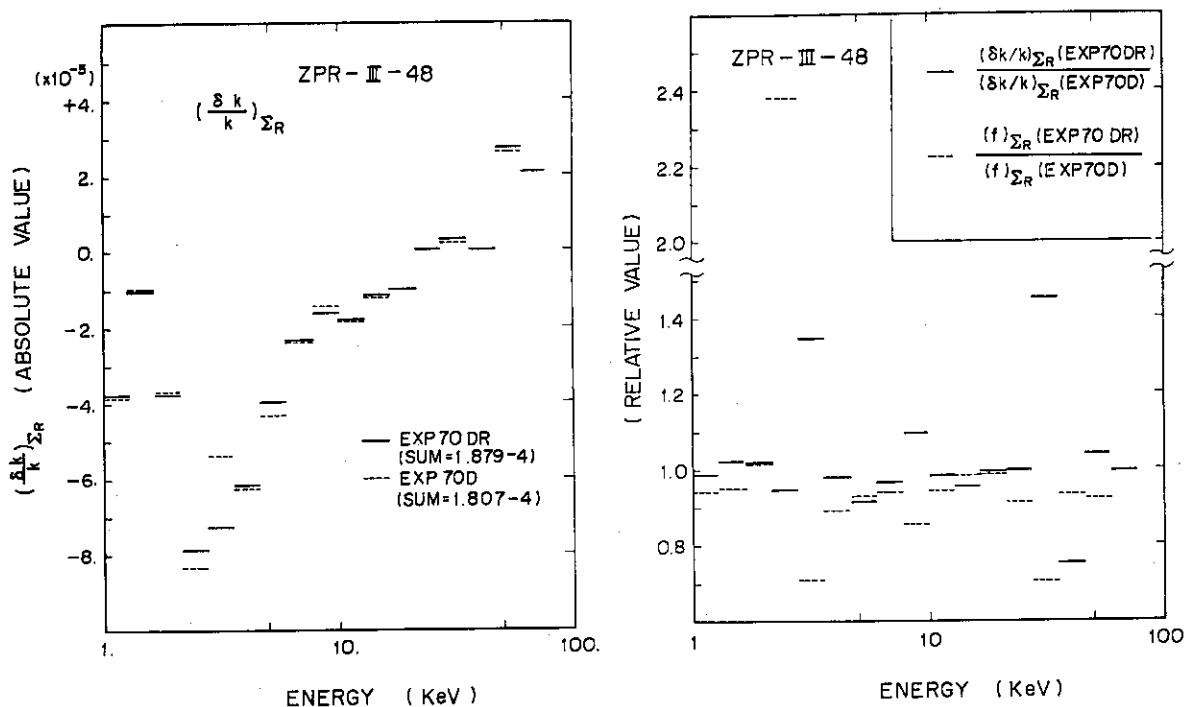


Fig. 4.2.1 Spectra in the Core Region of ZPR-III-48 Assembly

Fig. 4.2.2 Absolute and Relative Value of Absorption Component $(\delta k/k) \Sigma_a$ for the Na-Void Reactivity Coefficient.

Fig. 4.2.4 Relative Value of spectrum gradient and Σ_{er} Cross Sections.Fig. 4.2.3 Absolute and Relative Value of Elastic Removal Component $(\delta k/k)\Sigma_R$ for the Na-Void Reactivity Coefficient.

5. 結 論

Na , Fe , O といった軽中重核種の共鳴エネルギー部分における弹性除去断面積のより正確を取り扱いを行った。すなわち重心系非等方散乱を考慮した Recurrence Formula により詳細 Weight flux をとき直し、それにより Weight しきおして実効除去断面積を求めた。その求めをねむした実効弹性除去断面積を用いて一次元臨界擾動計算を行うことができるコード EXPANDA-70 DRA が今回作成された。本コードは通常の First Order Perturbation の他に擾動 flux を用いる Exact Perturbation も可能となるように作成されている。

以上のような取り扱いに基く、より正確な実効弹性除去断面積の各種積分量に対する効果が、その積分量計算の際に付随してくる他の誤差要因とも関連して調べられた。

調べられた積分量は、 Na の Resonance energy 域についての実効弹性除去断面積を再計算していることから Na の Sample Worth 及び安全性にとって重要である Na-Void 係数を中心にして、spectrum や臨界性についてである。計算対象としては、 Na の Sample Worth に対しては FCA-V-II のかなり硬い炉心について、又 Na の Void 係数については 1000 MW クラスの大型炉を模擬したといわれる ZPR-III-48 を考えた。

その結果、 Σ_{er} の断面積の取り扱い方法により Resonance の部分での一次元コードによって解かれた flux にはかなりの差 (factor にして 2 倍前後のものもある。) を生じていることがわかった。この差が各種の積分量へと影響を及ぼすわけである。さらに、より正しい弹性除去断面積の取り扱いによる結果が常に実験値との一致をうまく説明する方向へ向くわけではないことがわかった。すなわち ZPR-III-48 の Na-Void 係数については、より正確を取り扱いが C/E 値をよりよい方向へその値を向けているが、FCA-V-II の Na の Sample Worth では、より正しい取り扱いがより悪い方向へと向いていることがわかった。これは Σ_{er} の取り扱い方とは異った所にまだ問題を残していることを示唆している。

弹性除去断面積のより正しい取り扱いによる反応度値への効果は、反応度値に 10~15 % の値の変動をもたらすが、この値は他の変動要因たとえば体系の importance を規定する重い核種の主要断面積の評価の差、擾動領域における擾動 flux の近似精度の差による反応度値への効果とほぼ同じ位の大きさのものであることがわかった。又臨界性に対する影響は大きく見つまても 0.05 % 以下であり、現時点ではこの大きさはそれ程重要でないことが結論される。

以上のことから、原子炉の設計例にとって、弹性除去断面積についての従来からの計算方法が極めて悪かったということにはならないわけで、今回、ここで取り上げたようより正しい弹性除去断面積の取り扱いがなされるべきであるとは考えるが、その際、他の誤差要因についても注意深い洞察が必要となってくる。

謝 辞

本研究を行うに当たりまして有益なるコメントをいただきました核設計研究室長 桂木 学氏
に感謝致します。

文 献

- 1) Abagyan L.P., et al.: "GROUP Constants for Nuclear Reactor Calculations", Consultants Bureau, New York, (1964)
- 2) Katsuragi S., et al.: JAERI 1195 (1970)
- 3) Katsuragi S., et al.: JAERI 1199 (1970), JAERI 1199 supple 1 (1971)
- 4) Toppel, B.J., Rago, A.L., O'Shea, D.M.: ANL-7318 (1967)
- 5) Kier, P.H.: ANL-7033
- 6) Ohkubo, Y., et al.: J Nucl. Sci. Technol., 11 348 (1974)
- 7) Stacey, W.M., Jr.: CONF-720901 Book 2, 143 (1972)
- 8) Kasturagi, S., et al.: 1972 Fall Meeting on Reactor Physics and Engineering B.28
- 9) Evaluated Nuclear Data File Version III
- 10) Hasegawa, A., et al.: JAERI-M 4953 (1972)
- 11) Hirakawa, N., et al.: Unpublished work (1970)
- 12) Broomfield, A.M., et al.: ANL-7759 (1970)
- 13) Takano, H., et al.: Unpublished work (1971)
- 14) Takano, H., et al.: Unpublished work (1974)
- 15) Hasegawa, A., et al.: JAERI-M 5536 (1974)

謝 辞

本研究を行うに当たりまして有益なるコメントをいただきました核設計研究室長 桂木 学氏
に感謝致します。

文 献

- 1) Abagyan L.P., et al.: "GROUP Constants for Nuclear Reactor Calculations", Consultants Bureau, New York, (1964)
- 2) Katsuragi S., et al.: JAERI 1195 (1970)
- 3) Katsuragi S., et al.: JAERI 1199 (1970), JAERI 1199 supple 1 (1971)
- 4) Toppel, B.J., Rago, A.L., O'Shea, D.M.: ANL-7318 (1967)
- 5) Kier, P.H.: ANL-7033
- 6) Ohkubo, Y., et al.: J Nucl. Sci. Technol., 11 348 (1974)
- 7) Stacey, W.M., Jr.: CONF-720901 Book 2, 143 (1972)
- 8) Kasturagi, S., et al.: 1972 Fall Meeting on Reactor Physics and Engineering B.28
- 9) Evaluated Nuclear Data File Version III
- 10) Hasegawa, A., et al.: JAERI-M 4953 (1972)
- 11) Hirakawa, N., et al.: Unpublished work (1970)
- 12) Broomfield, A.M., et al.: ANL-7759 (1970)
- 13) Takano, H., et al.: Unpublished work (1971)
- 14) Takano, H., et al.: Unpublished work (1974)
- 15) Hasegawa, A., et al.: JAERI-M 5536 (1974)

A 1 追加及び変更したサブルーチンについて

1. より正確な弾性除去断面積の取り扱いの為の変更点(コード EXPANDA-70 DR or -70 DRA)

A サブルーチンについての変更

(○) EXP70DM (FTMAIN)

中重核共鳴領域の弾性除去散乱断面積の再計算ルーチン RECUR 及びそれに付随するルーチンの制御を行うように変更。

(◎) RECUR

$\text{Na}, \text{Fe}, \text{O}$ の共鳴領域における領域依存の近似 Weight flux を解き、その解かれた flux を Weight として、その領域内の核種の実効弾性除去断面積を求める。この求められた値は Self-shielding factor の形で ONEDIM へ送られる。

(◎) INIT

RECUR で使用される各核種に対する定数 (slowing down equation を解く際に必要となる) の計算。

(○) MICRO

σ_{er} 再計算ルーチン RECUR で必要となる各核種の断面積を作成し引き渡す。

(○) ONEDIM

RECUR で作成された新しい断面積 (σ_{er}) をおきかえて、より正しい取り扱いに基く巨視断面積をつくり出すように変更。変更前、後の断面積を TABLE の形で出力できるように変更。

(◎) PRTFX

RECUR で解かれた領域毎の flux, その際に使用した Σ_t の印刷及び Plotter 出力を行うルーチン。

(◎) PRT

論理機番 F 0 9 に書き出されている変更断面積及び変更前の断面積をよみ出して印刷するルーチン。

(◎) PRTM1

変更断面積の TABLE を出力するルーチン。

弾性除去(飛び越し)断面積について

エネルギー群別に出力する。

(◎) PRTS1

共鳴核種 (Fe, Na, O) についての変更断面積の TABLE 出力ルーチン。

(○) BSQCLIN

RECUR により各領域の flux を解くのに必要な Buckling を入力するルーチン。

(○) G PLOT 1 内の TITLEP, SEPTE についても使用しやすいように変更した。

外部組み込みサブルーチン

G PLOT 1 (汎用グラフ作成サブルーチン)

CLOCK (CPU time を計るルーチン)

の二サブルーチンが必要となった。

以上の本文中，◎印のサブルーチンが新しく作成されてつけ加えられたもので，○印が従来からあるサブルーチンを多少変更したものを表わす。

B 新設 File の参照関係

論理機番 F 0 9 の File が新設された。

MICRO, ONEDIMで書き出され，PRTにて読まれる。書く内容は，変更する断面積についての新旧の値であり，binary modeで書かれる。

2. EXACT PERTURBATION による取り扱いの為の変更点（コード EXPANDA-70 DA or 70 DRA）

A サブルーチンについての変更

○ EXP70DM (MAIN ROUTINE)

ISKIPDのOptionにより EXACT PERTURBATION 計算を実行するように
FLOWを変更。

論理機番 F 2 5 , F 2 6 の新設。

○ ONEDIM

EXACT PERTURBATIONのOptionがONのときのみ非擾動ケース（基準ケー
ス）の ϕ^* (隨伴中性子束)のみを論理機番 F 2 6 の File へ書き出す。

擾動ケースの ϕ' (中性子束)を論理機番 F 2 5 の File へ順次 (case 順に)書き出
すように変更。

即ち、

case 1 : UNPERTURBED	ϕ^*	(F 2 6)
case 2 : PERTURBED	ϕ'	(F 2 5)
case 3 : //	ϕ'	(F 2 5)
(((
case n : //	ϕ'	(F 2 5)

○ EXPAND

k_{eff} の出力を F 2 5 , F 2 6 の各論理機番を持つ file へ行なうように変更。

○ SPD2

ϕ^* , ϕ' の入力を F 2 6 , F 2 5 の各論理機番から行なえるように変更。

B 新設 File の参照関係

論理機番 F 2 5 , F 2 6 の 2 File が新設された。

○ File F 2 5 の機番に対する記録内容は

k_{eff} , ϕ_1^* , Δ

但し， Δ は E.O.F (End Of File)

○ File F26 の機番に対する記録内容は

 $k_{eff\,2}, \phi_2', k_{eff\,3}, \phi_3', k_{eff\,4}, \phi_4', \dots, \Delta$

但し 2, 3, ... の数字は case 数を表わす。基準系を 1 とする。

File の参照関係は、 EXP70DM, ONEDIM, EXPAND, SPD2 の間にのみ存在する。詳しくは A項参照のこと。

A 2 入力形式の変更点について

入力カード形式の大体は EXPANDA 70 D とほぼ一致しており、一致点以外の追加変更点について述べる。一致点については JAERI-M 4953 参照のこと。

A card

NS, IFX, NP, IMX, ISKIPD*, ISIGP, MPMIN, MPMAX, I7, ITPE,
IOUT1*, ICHI, IDOP, MDOP (12 I 6, 4 I 2)

以上の field のうち *印の ISKIPD, IOUT1 の Option が変更が生じた。

○ ISKIPD Col 25~30

- = 0 臨界計算コード (EXPANDA-70) として使う。
- = 1 First Order Perturbation Code (Unperturbed flux を使用)
EXPANDA-70 D として使う。
- = -1 (新設 Option)
Perturbed Flux を用いる Exact Perturbation Code
EXPANDA70 DA (or DRA) として使う。
詳しくは EXACT Perturbation の項 (3.4) 参照。

○ IOUT1 (=IRECUR) Col 61~66

新設 Option

Na, Fe 及び O の共鳴領域の領域毎の近似 Weight flux を Recurrence Formula により解き直し、得られた flux を Weight としてそのエネルギー域の弾性除去断面積を 求め直して、その値を用いての臨界、摂動計算に入る。

- = 0 or 10 上記の計算は完全に skip する。
計算コードとしては、ISKIPD の Option に従って EXPANDA70, EXPANDA70 D, EXPANDA70 DA として作動する。
- = 0 or 10 この場合、上記の計算（弾性除去断面積のより正確な取り扱い）を行なうが、更に計算の方法及び Out Put の選択の Option として次のような値を引き渡す必要がある。

IOUT1	PRINT	PLOT
1 or 11	OFF	OFF
2 or 12	ON	OFF
3 or 13	OFF	ON
4 or 14	ON	ON

但し、PRINT ON の場合は、Flux, Current, Σ_t 及び再計算して得られた実効 除去断面積と再計算まえの従来からの値が TABLE の形で出力される。

PLOT ON の場合は、各領域について解き直した近似 Weighting flux, 及び Σ_t が graphic Plotter にて出力される。

Option 1～4までは、Oの共鳴領域についての再計算は行なわない。かつ重い核種が(²³⁸U等)多量に組成として含まれている領域については自動的に弾性除去断面積の再計算は行なわない標準のOptionである。(詳しくは3章参照のこと)

Option 11～14の場合には、その領域のO, Na, Feのnumber densityが0.でない限り無条件で弾性除去断面積の再計算を行い、その値を用いて臨界、擾動計算に入る。この場合、以下に述べるようなunphysicalを解fluxで弾性除去断面積をWeightしていることが應々にありうるため注意が必要。Oの共鳴領域については、炉心内で形成されるスペクトルとは異った形のスペクトルが求まり問題がある。又²³⁸U等の多い領域においてもかなり傾きの異ったFluxが求まり問題がある。

通常はOption 1～4で行うこと。

#0, #1～#9の一続きのinputの最後に#17のcardをIRECUR(即ちIOUT1)=0, 10のときに入力する必要がある。これは各caseについて入力することが必要。

#17. NO, (BSQC(K), K=1+L, MINO+5+L, KMAX), K, NC
(I3, 5 E 12.5, 15X, 211)

NO = 17 fix

BSQC(K); B²の値の入力(各領域について)

K Col 79

= 0 次にもBSQCのinput cardが来る場合。

= 1 BSQCのinput cardの終了を示す。

NC Col 80

= 1 1枚目のcardのとき (L=0)

= 2 2枚目のcardのとき (L=5)

For ex:

K NC

領域数が4のとき 1 1

領域数が10のとき { 0 1
1 2

領域数が10で7～9 1 2

領域のみ変更したいとき

この部分のK, NCの入力情報の意味について前回のJAERI-M 4953の#7 cardの説明中に説明不足の点があったが、#7もここでの#17と全く同じ入力のしかたをとることをことわっておく。又#1～#9のcardと同様にBlank checkを行い、2 case目以降のinput作成にあたっては、大幅に手間を省けるようになっている。

#17のB²は、Currentを計算するために必要なものであり、解法の二章のところについて述べたBに対応するものである。計算する領域について0.を入力するとその領域のCurrentは全て0.となる(実験室系で等方の仮定)。

A 3 出力形式の追加変更点について

- より正しい取り扱いに基く弾性除去断面積の再計算を行っている場合に次のように出力が IRECUR の Option に従って出力される。
- 近似 Weighting flux (FLX), current (CUR), Macroscopic total cross section SIG が計算された energy 点 (EN) 毎に出力される。TABLE の形で (e.f Fig A-3)。
- 上記の中で近似 Weighting flux (FLX), total cross section (SIG) については plotter output (e.f fig 4-2.1, fig A-8) も出力される。
- 変更新断面積のテーブル

1. Resonance 核種について (e.f Fig A-5, A-6)

σ_e , σ_{er} , f_{er} の新旧の表が出力される。

Resonance 1核種につき 1 ~ 2 頁 (領域数による)

caption 例	内 容
NA SSS	NA の実効散乱断面積 $\bar{\sigma}_e$
FE STR	FE の実効弾性除去断面積 $\bar{\sigma}_{er}$
O SFE1	O の self shielding factor for elastic scattering
KREG	REGION id

2. 各群、各領域についての変更新断面積のテーブル

$\bar{\sigma}_t$, $\bar{\sigma}_{er}$, $\bar{\sigma}_{in,r}$, $\sigma^{i \rightarrow i}$, $\sigma_e^{i \rightarrow i+1}$, $\sigma_e^{i \rightarrow i+2}$, $f_{er}^{i \rightarrow i+1}$, $f_{er}^{i \rightarrow i+2}$ が各核種について新旧の値が出力される。出力量は、群数 × 領域の頁数だけ出される。

caption	内 容
M CODE	核種 ID のコードナンバー
SST	total removal cross section
SER	elastic による removal cross section ($\bar{\sigma}_e - \bar{\sigma}_e^{i \rightarrow i}$)
SIR	inelastic (飛びこし弹性散乱をも含める) による removal cross section ($\bar{\sigma}_{in} - \bar{\sigma}_{in}^{i \rightarrow i}$)
WSTR (I ~ I + 0)	$\bar{\sigma}_e^{i \rightarrow i} + \bar{\sigma}_{in}^{i \rightarrow i}$
WSTR (I ~ I + 1)	$\bar{\sigma}_e^{i \rightarrow i+1} + \bar{\sigma}_{in}^{i \rightarrow i+1}$
WSTR (I ~ I + 2)	$\bar{\sigma}_e^{i \rightarrow i+2} + \bar{\sigma}_{in}^{i \rightarrow i+2}$
SF1 (I ~ I + 1)	$f_e^{i \rightarrow i+1}$ (shielding factor)
SF2 (I ~ I + 2)	$f_e^{i \rightarrow i+2}$ (shielding factor)

e.f Appendix Fig A-7 参照。

A 4 System Requirement 及び JOB CONTROL CARDについて

1) CORE SIZEから来る制限条件

領域数 KMAX \leq 10空間メッシュ数 INTER(KMAX) \leq 100許される down scattering の群数 IDS \leq 29

取り扱われる JAERI-Fast Set Library についての energy 群数

○ IRECUR \neq 0, 10 のときのみ IMAX = IMX = 70○ IRECUR = 0, 10 のときは IMAX = IMX \leq 70

の任意群の Library が使用できる。

2) RECUR SUBROUTINE を CALLすることによる制限事項

IRECUR \neq 0, 10 の時に付随してくる制限条件は使用にあたってのコードの制限条件の項参照のこと。

3) System Requirement

a) CORE MEMORY

OVERLAY STRUCTURE にて 171K words (1K = 1000 として) 必要。

b) I/O UNIT

○ TAPE UNIT (DISK or DISKPACK でも可)

F 24 : σ_{∞} , f, library tapeF 14 : ϕ , ϕ^* , f の dump unit

F 01 : Macro Cross Section Out Put Unit

○ PUNCH FILE

○ PLOT COMMAND TAPE UNIT

○ SCRATCH FILE (DISK or DISK PACK)

total で最低 4000 ~ 5000 track 程度確保する必要がある。必要となる論理機番は以下の通り。

F 01* (or F 08) : Macro Cross Section Out Put Unit (100)

F 02 : Effective Micro Cross Section Storage (800)

F 03 : Macro Cross Section Storage (400)

F 04 : Temporary Library Data Storage (400)

F 09 : EXP 70 DR で変更する Na, Fe, O の共鳴領域の断面積の新旧の値の dump area (400)

F 14* : ϕ , ϕ^* , f の dump routine (1000 ~ 2000)

F 18 : Temporary Data Storage (100)

F 25 : Exact Perturbation の ϕ^* dump (200)F 26 : Exact Perturbation の ϕ' dump (1000)

上記の () 中の数字は確保する必要のある track 数。 * のついている File は TAPE File の項にも記述があり、いずれの unit でもよい。 F 14 は tape の方が keep しやすいし、これだけの track 数を共用の Disk 内にとることは現在のシステムで

はむづかしい。単なる SCRATCH Fileとして用いるならかまわない。又、F14の
Fileに残されている shielding factorは、ここで取り扱っているより正しい取り扱い
に基く弾性除去断面積の変更後の値が入っているわけではなく、旧い変更前の値になつて
いるために、後段で XPRTC 等を用いて積分量の計算を行う場合より正しい取り扱いに基く
弾性除去断面積を使用しないことになるため注意のこと。

実際の使用にあたつての JOB CONTROL CARDについて

以下に原研 FACOM-230/60 における JOB CON の Card Set up の例を示す。

```
$NO
$GJOB
$EXEC . DP   EXP70DRA, J2585 , EXP70DRA , OUT = 1000
$PLOT
$DISK F01
$DISK F02 .. 400
$DISK F03 .. 400
$DISK F04 .. 400
$DISK F08
$DISK F09 .. 200
$DISK F14 .. 1000
$DISK F18
$DISK F25 .. 200
$DISK F26 .. 1000
$DISKP1 F24, J2585, LTFR801
$DATA
$JEND
```

以上の例では、PROGRAMは EXECUTABLE BINARY で永久 File に登録してあるものを使うようになっている。PROGRAM名は EXP70DRA, File 名は J2585。EXP70DRAである。又、出力が (PRINTER) Full option を指定するとものすごい量になるため、そのための出力領域として F472L の DISK PACK に 1000 track 確保するため OUT = 1000 の指定をしている。

\$PLOT の card は、IRECUR = 3, 4, 13, 14 のいずれかのとき必要となり、この場合、計算センターへの作業連絡票は緑色のプロッター使用の用紙を用いて申し込んで下さい。

F24 の File は、JAERI-Fast Set の Library tape を assign する必要があり、IRECUR = 0, 10 の場合には、何群の JAERI-Fast Set の Library でも許されるが（単なる臨界計算コード EXP70, F.O.P 計算コード EXP70D, E.P 計算コード EXP70DA として走らせる場合）、IRECUR ≠ 0, 10 の場合には、(EXP70DR or EXP70DRA として走らせる場合) 70 群の JAERI-Fast Set の Library のみしか許されない。

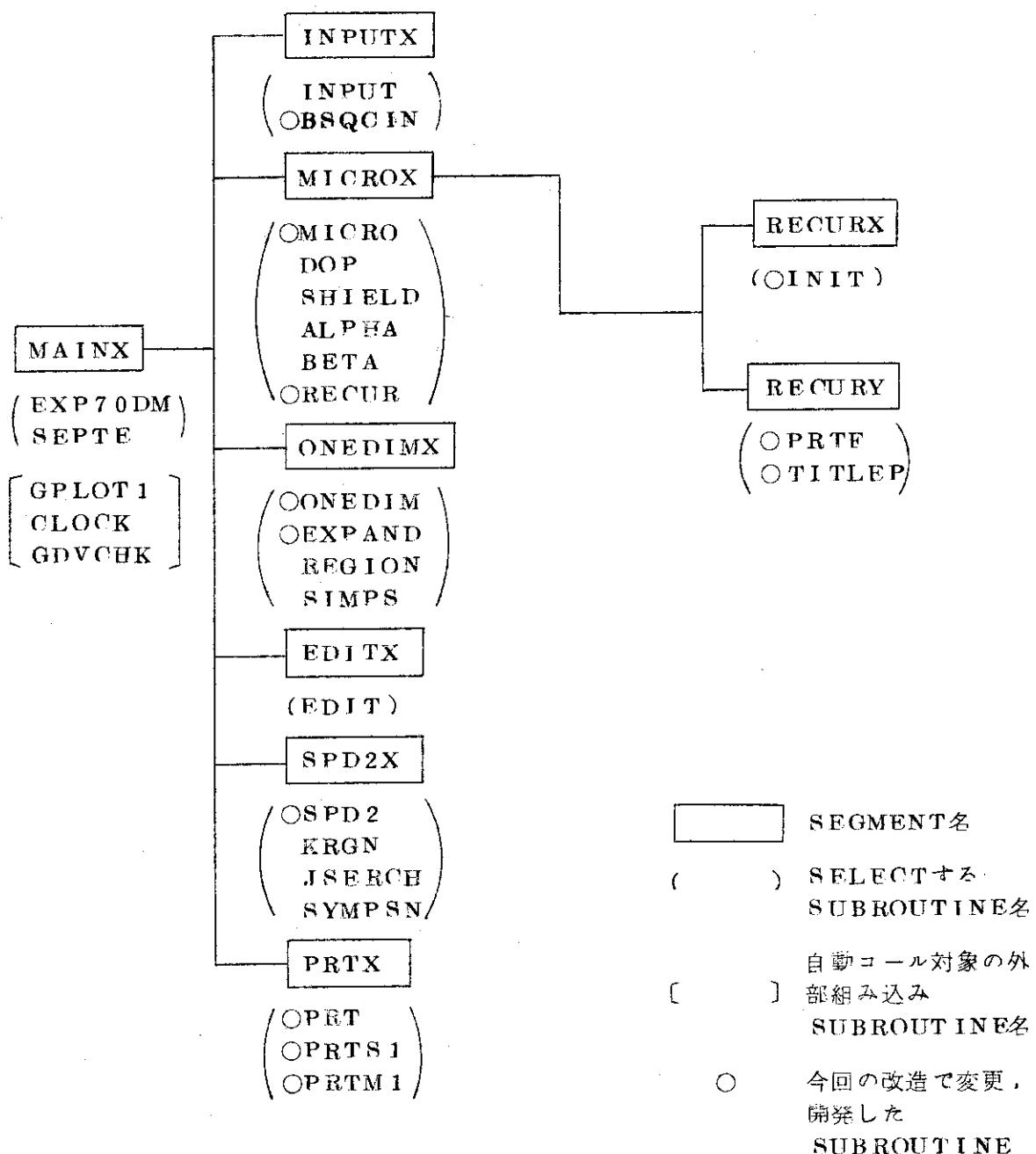
出力量の打ち切りには充分注意して下さい。Full Option にして 2 case 計算すると 400 ~ 500 頁の出力になることもあります。

A 5 Overlay Structureについて

1974年8月末現在、EXPANDA-70 DRAの原研 FACOM-230/60 で使用しているセグメント、セレクトの関係は以下の通りである。

必要となる HCM (High Speed Core Memory) 領域は、約 171 K words である。

Fig A.5.1 RECOMMENDED OVERLAY STRUCTURE



A 6 使用にあたつてのコードの制限事項

1974年8月末現在のEXP70DRAには次のような制限条件が存在するため使用者は十分注意して使用のこと。

1. ライブラリーの制限

a) 使用できる群定数はJAERI-Fast 70群定数に限定される。これはNa, Feの弾性除去断面積を再計算するエネルギー範囲を70群構造での群数に固定していることによる。
(22群から37群までを再計算するエネルギー域と決めてしまっている。)

b) ライブラリー中の核種は18核種、しかもそのライブラリー中での核種の順序は決められてしまっており、任意のライブラリーは使用できない。

核種の順序及びコードナンバー、核種を記すと、

- ① 925(U-235), ② 928(U-238), ③ 949(Pu-239), ④ 940(Pu-240),
- ⑤ 105(B-10), ⑥ 115(B-11), ⑦ 6(C), ⑧ 8(O),
- ⑨ 11(Na), ⑩ 13(Al), ⑪ 24(Cr), ⑫ 25(Mn),
- ⑬ 26(Fe), ⑭ 28(Ni), ⑮ 29(Cu), ⑯ 42(Mo),
- ⑰ 924(U-234), ⑱ 941(Pu-241)

即ち、核種順序が上記のようなライブラリーを用意すればよい。又本コードでは18核種までが有効で、19番目以降の核種はライブラリーで定義されても本コードでは識別しないため、19番目以降に入っている核種を組成としてassignするとエラーとなる。

c) 重い核種(質量数 $A \geq 200$)のライブラリー中に収容されている総数は8コまでに限られる。又重い核種のコードNoは900番台をassignしないといけない。900番台のコードナンバーにより、本コードでは当該核種が重い核種であるかどうかを識別していることによる。

d) c)のことから、逆に900番台のコードナンバーを重い核以外のたとえばF,P等の核種にわりあててはならない。

2. コードのプロセス上での制限

^{10}B よりも軽い核種が取り扱われる場合には、そのMatrix(Transfer Cross Sectionの)が正しく扱われるようコードの修正が必要となる。現在のライブラリーでは、 ^{10}B より軽い核はないため、弾性散乱断面積で3群以上飛ぶ(自群→自群を1と数えて)核種は存在しないためこのような制限となつた。

以上かなり面倒な制限があるよう見えるが、1974年6月Versionを含めて、それ以前のVersionのJAERI-Fast 70群setのライブラリーを使用していく上においてはこれらの制限は全て満たされており何ら問題はない。ただ、USERが個々に作成した断面積セットを使用して、EXPANDA-70DRを使用しようとする場合には、これらの条件に合ったライブラリーを作成する必要がある。

標準ライブラリーTape及びDiskとして次のものが準備されている。

○ 標準ライブラリー Tape

Vol通番	File Label	内 容
001044	J2585.LTFR70	(1969.11 Version)
001205	J2585.LTFR701	(1970. 6 Version)

○ 標準ライブラリー Disk

\$ DISKP1 F24, J2585. LTFR701 (1970.6 Version)
\$ DISKP1 F24, J2585. LTFR801 (1974.6 Version)

A 7 使 用 例

EXPANDA-70DRA による ZPR-III-48 炉心についての Na-Void 計算の際の入力 data の list (Fig A-1) と出力の一部分 (EXPANDA70D に更に追加された部分を Fig A-2 ~ A-8 に示す。

これは IRECUR = 4 の PRINT, PLOT 出力が ON の場合の case であり、各領域について近似 Weight flux を標準の Option により計算し、その flux により実効弾性除去断面積を求めをかし、より正しい取扱いによる Na-Void 係数を Exact Perturbation (ISKIPD = -1) により計算させていく例である。

この case の場合、CPU time = 912 sec, core time = 1374 sec, core = 168 K (1 K = 1024 Words) であった。

各 Option の選択による計算時間の差を表にすると

	CPU	CORE	
EXP70	393 sec	649 sec	1 case ϕ, ϕ^*, Σ
EXP70D	544 sec	1250 sec	F.O.P
EXP70DR	682 sec	1090 sec	F.O.P
EXP70DRA	912 sec	1374 sec	E.P 2 case ϕ, ϕ^*

- 但し ○ EXP70……EXPANDA70 ; 70群以下任意群の1次元臨界計算コード。
○ EXP70D……EXPANDA70に擾動計算部分のついたもの。
○ EXP70DR……EXP70Dに Σ_{er} についてのより正しい取り扱いを行ったもの。
○ EXP70DRA……EXP70DRに Exact Perturbation の計算オプションのついたもの。

Fig. A.1 Input Data List.

```

NA-REMOVAL EXPERIMENT ANALYSIS ZPR-111-48 STANDARD CORE
PERTURBED MICROSCOPIC CROSS SECTION 1
FLUX-ADJOINT FLUX CALCULATION 1
FLUX-ADJOINT FLUX PUNCH OPTION 0

* INX * USED GROUP CONSTANTS *** 70 GROUP JAERI= FAST SET SYSTEM
* ISKIPD * SKIP U'ION FOR PERTURBATION CODE *SPDZ* ( IF U THEN SKIP) *** -1
* ISIGP * SKIP OPTION FOR CENTRAL SIGMA PERTURBATION CODE *XPRT* (IF O THEN SKIP ) *** 0
MPMIN MPMAX 17 17pt ICUT1 ICH1 IDOP MOOP
70 2 0 0 4 0 0 0
ICUT1 * ICH1 * IDOP * MDUP = DUMMY VAL
IRECUR

NA : FE, O SCATTERING AND ELASTIC TRANSFER CROSS SECTION WILL BE RECALCULATED BY EXACT FLUX WEIGHTING METHOD
ISKIPD = -1 PERTURBATION CASE WILL BE CALCULATED USING EXACT PERTURBED FLUX
NC1 (928,940,10,25) = 25
NC2 (949,925,11,25) = 26

```

Fig. A.2 Out Put List-1.

		EN	PRINT NO -- 4 --	CUR	FLX	SIG	FLX	CUR
1	361	4.95254E 03	0.44778E 00	2.85093E-01	0.0	421	2.97778E 03	2.00644E-02
	362	4.21359E 03	0.44921E 00	2.85450E-01	0.0	422	2.95059E 03	2.17658E-02
	363	4.87601E 03	0.45083E 00	2.79778E-01	0.0	423	2.92552E 03	2.34730E-02
	364	4.35077E 03	0.45248E 00	2.71084E-01	0.0	424	2.90886E 03	2.49552E-02
	365	4.78988E 03	0.45421E 00	2.74371E-01	0.0	425	2.87630E 03	2.61567E-02
	366	4.44934E 03	0.45603E 00	2.71647E-01	0.0	426	2.85196E 03	2.68260E-02
	367	4.10914E 03	0.45794E 00	2.68915E-01	0.0	427	2.82752E 03	2.68874E-02
	368	4.66928E 03	0.45996E 00	2.66800E-01	0.0	428	2.80388E 03	2.63108E-02
	369	4.62976E 03	0.46208E 00	2.63448E-01	0.0	429	2.78015E 03	2.51877E-02
	370	4.35088E 03	0.46407E 00	2.63399E-01	0.0	430	2.75662E 03	2.406011
	371	4.22172E 03	0.465099	2.58818E-01	0.0	431	2.73329E 03	2.231342
	372	4.51320E 03	0.462584	2.25884E-01	0.0	432	2.70105E 03	2.04988
	373	4.47500E 03	0.468213	2.22768E-01	0.0	433	2.68722E 03	1.873764
	374	4.47312E 03	0.470999	2.50162E-01	0.0	434	2.66441E 03	1.706677
	375	4.39956E 03	0.473961	2.47268E-01	0.0	435	2.64192E 03	1.559901
	376	4.36333E 03	0.477119	2.44443E-01	0.0	436	2.61196E 03	1.427466
	377	4.35254E 03	0.480503	2.41199E-01	0.0	437	2.59739E 03	1.311119
	378	4.28579E 03	0.491448	2.38774E-01	0.0	438	2.57549E 03	1.210983
	379	4.22494E 03	0.488106	2.34690E-01	0.0	439	2.55386E 03	1.123376
	380	4.21620E 03	0.492443	2.313192E-01	0.0	440	2.53197E 03	1.047192
	381	4.18681E 03	0.497279	2.27337E-01	0.0	441	2.51056E 03	0.982264
	382	4.14943E 03	0.502164	2.24160E-01	0.0	442	2.48934E 03	0.922305
	383	4.11034E 03	0.509164	2.20562E-01	0.0	443	2.46824E 03	0.875577
	384	4.07295E 03	0.511898	2.15201E-01	0.0	444	2.44739E 03	0.832232
	385	4.04405E 03	0.516593	2.10263E-01	0.0	445	2.42666E 03	0.794607
	386	4.00885E 03	0.538846	2.04244E-01	0.0	446	2.40610E 03	0.761396
	387	3.97194E 03	0.552681	1.98031E-01	0.0	447	2.38737E 03	0.732162
	388	3.93931E 03	0.562559	2.24160E-01	0.0	448	2.36524E 03	0.706245
	389	3.90297E 03	0.562219	1.92364E-01	0.0	449	2.34552E 03	0.683357
	390	3.87291E 03	0.560609	1.93494E-01	0.0	450	2.32566E 03	0.662695
	391	3.84013E 03	0.559941	1.93501E-01	0.0	451	2.30598E 03	0.644757
	392	3.80162E 03	0.562513	1.92257E-01	0.0	452	2.28646E 03	0.626466
	393	3.77560E 03	0.567719	1.89747E-01	0.0	453	2.26711E 03	0.613842
	394	3.74344E 03	0.574405	1.86153E-01	0.0	454	2.24794E 03	0.600661
	395	3.71116E 03	0.582721	1.81779E-01	0.0	455	2.22889E 03	0.588603
	396	3.68094E 03	0.592283	1.76790E-01	0.0	456	2.21003E 03	0.576651
	397	3.64919E 03	0.602991	1.71441E-01	0.0	457	2.19132E 03	0.568311
	398	3.61850E 03	0.614493	1.66018E-01	0.0	458	2.17278E 03	0.559454
	399	3.58768E 03	0.628028	1.60668E-01	0.0	459	2.15439E 03	0.551386
	400	3.55531E 03	0.637445	1.66153E-01	0.0	460	2.13611E 03	0.544022
	401	3.52270E 03	0.658271	1.61779E-01	0.0	461	2.11807E 03	0.489207
	402	3.49152E 03	0.664978	1.20330E-01	0.0	462	2.10014E 03	0.483038
	403	3.46715E 03	0.669390	1.43639E-01	0.0	463	2.0837E 03	0.477372
	404	3.43840E 03	0.669124	1.37207E-01	0.0	464	2.06414E 03	0.472170
	405	3.40930E 03	0.712521	1.30658E-01	0.0	465	2.04727E 03	0.467376
	406	3.38044E 03	0.744271	1.24466E-01	0.0	466	2.02918E 03	0.462995
	407	3.35183E 03	0.773082	1.17446E-01	0.0	467	2.01276E 03	0.456676
	408	3.32346E 03	0.807221	1.16922E-01	0.0	468	1.99572E 03	0.452105
	409	3.29233E 03	0.845776	1.046622E-01	0.0	469	1.97835E 03	0.451613
	410	3.26744E 03	0.889326	9.85922E-02	0.0	470	1.96208E 03	0.448837
	411	3.23978E 03	0.938809	9.25227E-02	0.0	471	1.94547E 03	0.439372
	412	3.21236E 03	0.992093	8.64713E-02	0.0	472	1.92210E 03	0.43121E-01
	413	3.18217E 03	1.059313	8.04714E-02	0.0	473	1.902268E 03	0.429988
	414	3.15231E 03	1.132733	7.45664E-02	0.0	474	1.88649E 03	0.437574
	415	3.13148E 03	1.216736	6.88038E-02	0.0	475	1.86044E 03	0.435326
	416	3.10497E 03	1.312810	6.32924E-02	0.0	476	1.84622E 03	0.433230
	417	3.07669E 03	1.422389	5.79029E-02	0.0	477	1.82747E 03	0.431274
	418	3.05264E 03	1.546669	5.288661E-02	0.0	478	1.80309E 03	0.428499
	419	3.02680E 03	1.686216	4.81760E-02	0.0	479	1.78728E 03	0.427744
	420	3.00118E 03	1.840376	4.38668E-02	0.0	480	1.76220E 03	0.426150

T : Mesh Number EN : ENERGY LEVEL ; SIG : $\Sigma_{\text{eff}}(\text{E})$; CUR : $\Phi_{\text{o}}(\text{E})$, FLX : $\Phi_{\text{o}}(\text{F})$, CUR : $\Phi_{\text{o}}(\text{F})$

Fig. A.4 Out Put List-3.

GROUP	NA SSS			NA STR			NA SFEE					
	KREG=	1	2	KREG=	1	2	KREG=	1	2	3	KREG=	
22	OLD	NEW	OLD	OLD	NEW	OLD	OLD	NEW	OLD	NEW	OLD	NEW
23	6.16151E 00	5.36151E 00	6.18151E 00	5.36151E 00								
24	3.84714E 00	3.64874E 00	3.84714E 00									
25	4.01109E 00	4.00305E 00	4.00305E 00	4.01109E 00	4.00305E 00	4.01109E 00						
26	4.13613E 00	4.13561E 00	4.13561E 00	4.13613E 00	4.13561E 00	4.13613E 00						
27	4.24509E 00	4.24499E 00	4.24499E 00	4.24509E 00	4.24499E 00							
28	4.35949E 00	4.35880E 00	4.35880E 00	4.35949E 00	4.35880E 00	4.35949E 00						
29	5.28592E 00	5.27731E 00	5.27731E 00	5.28592E 00	5.27731E 00	5.28592E 00	5.27731E 00					
30	6.24241E 00	6.24341E 00	6.24341E 00	6.24241E 00	6.24341E 00	6.24241E 00						
31	1.17297E 01	1.16633E 01	1.16633E 01	1.17297E 01	1.16633E 01	1.17297E 01	1.16633E 01	1.17297E 01	1.16633E 01	1.16633E 01	1.16633E 01	1.16633E 01
32	2.79225E 01	2.79193E 01	2.79193E 01	2.79225E 01	2.79193E 01	2.79225E 01	2.79193E 01	2.79225E 01				
33	1.63331E 02	1.62086E 02	1.62086E 02	1.63331E 02								
34	1.1033E 02	1.02193E 02	1.02193E 02	1.1033E 02	1.02193E 02	1.1033E 02	1.02193E 02	1.1033E 02	1.02193E 02	1.1033E 02	1.02193E 02	1.1033E 02
35	1.91052E 01	1.78299E 01	1.78299E 01	1.91052E 01								
36	8.6310E 00	7.3352E 00	7.3352E 00	8.62310E 00	7.3352E 00	8.62310E 00	7.3352E 00	8.62310E 00	7.3352E 00	8.62310E 00	7.3352E 00	8.62310E 00
37	5.47335E 00	5.49073E 00	5.49073E 00	5.47335E 00								

Fig. A.5 Out Put List -4.

GROUP	FE SSS		FE STR		FE SFE1		FE SFE1	
	KREG#	OLD NEW						
22	4.35551E-00	4.47238E-00	4.35551E-00	4.47238E-00	4.35551E-00	4.47238E-00	4.35551E-00	4.47238E-00
23	5.42818E-00	5.40459E-00	5.42818E-00	5.40459E-00	5.42818E-00	5.40459E-00	5.42818E-00	5.40459E-00
24	1.76638E-01	1.52444E-01	1.76638E-01	1.52444E-01	1.76638E-01	1.52444E-01	1.76638E-01	1.52444E-01
25	4.39861E-00	5.46525E-00	4.39861E-00	5.46525E-00	4.39861E-00	5.46525E-00	4.39861E-00	5.46525E-00
26	2.21135E-00	2.44607E-00	2.21135E-00	2.44607E-00	2.21135E-00	2.44607E-00	2.21135E-00	2.44607E-00
27	3.73513E-00	3.13947E-00	3.73513E-00	3.13947E-00	3.73513E-00	3.13947E-00	3.73513E-00	3.13947E-00
28	5.74817E-00	5.11928E-00	5.74817E-00	5.11928E-00	5.74817E-00	5.11928E-00	5.74817E-00	5.11928E-00
29	1.09011E-01	1.05097E-01	1.09011E-01	1.05097E-01	1.09011E-01	1.05097E-01	1.09011E-01	1.05097E-01
30	2.86792E-01	1.12277E-01	2.86792E-01	1.12277E-01	2.86792E-01	1.12277E-01	2.86792E-01	1.12277E-01
31	8.21063E-01	8.44286E-00	8.21063E-01	8.44286E-00	8.21063E-01	8.44286E-00	8.21063E-01	8.44286E-00
32	5.48581E-00	5.44320E-00	5.48581E-00	5.44320E-00	5.48581E-00	5.44320E-00	5.48581E-00	5.44320E-00
33	5.25570E-00	5.17287E-00	5.25570E-00	5.17287E-00	5.25570E-00	5.17287E-00	5.25570E-00	5.17287E-00
34	5.93831E-00	6.01204E-00	5.93831E-00	6.01204E-00	5.93831E-00	6.01204E-00	5.93831E-00	6.01204E-00
35	6.85239E-00	6.89201E-00	6.85239E-00	6.89201E-00	6.85239E-00	6.89201E-00	6.85239E-00	6.89201E-00
36	7.63939E-00	7.03158E-00	7.63939E-00	7.03158E-00	7.63939E-00	7.03158E-00	7.63939E-00	7.03158E-00
37	8.42594E-00	8.41997E-00	8.42594E-00	8.41997E-00	8.42594E-00	8.41997E-00	8.42594E-00	8.41997E-00
22	4.31646E-00	4.63455E-00	4.31646E-00	4.63455E-00	4.31646E-00	4.63455E-00	4.31646E-00	4.63455E-00
23	5.38132E-00	5.32205E-00	5.38132E-00	5.32205E-00	5.38132E-00	5.32205E-00	5.38132E-00	5.32205E-00
24	1.74767E-01	1.10494E-01	1.74767E-01	1.10494E-01	1.74767E-01	1.10494E-01	1.74767E-01	1.10494E-01
25	4.38321E-00	5.43722E-00	4.38321E-00	5.43722E-00	4.38321E-00	5.43722E-00	4.38321E-00	5.43722E-00
26	2.20052E-00	2.40411E-00	2.20052E-00	2.40411E-00	2.20052E-00	2.40411E-00	2.20052E-00	2.40411E-00
27	3.70961E-00	3.71234E-00	3.70961E-00	3.71234E-00	3.70961E-00	3.71234E-00	3.70961E-00	3.71234E-00
28	5.70121E-00	5.87300E-00	5.70121E-00	5.87300E-00	5.70121E-00	5.87300E-00	5.70121E-00	5.87300E-00
29	1.08129E-01	1.04190E-01	1.08129E-01	1.04190E-01	1.08129E-01	1.04190E-01	1.08129E-01	1.04190E-01
30	1.85339E-01	1.210468E-01	1.85339E-01	1.210468E-01	1.85339E-01	1.210468E-01	1.85339E-01	1.210468E-01
31	6.14040E-00	8.36986E-00	6.14040E-00	8.36986E-00	6.14040E-00	8.36986E-00	6.14040E-00	8.36986E-00
32	5.34396E-00	5.39564E-00	5.34396E-00	5.39564E-00	5.34396E-00	5.39564E-00	5.34396E-00	5.39564E-00
33	5.20129E-01	5.12221E-01	5.20129E-01	5.12221E-01	5.20129E-01	5.12221E-01	5.20129E-01	5.12221E-01
34	5.71402E-01	5.94721E-00	5.71402E-01	5.94721E-00	5.71402E-01	5.94721E-00	5.71402E-01	5.94721E-00
35	6.78081E-00	6.17911E-00	6.78081E-00	6.17911E-00	6.78081E-00	6.17911E-00	6.78081E-00	6.17911E-00
36	7.26648E-00	7.32821E-00	7.26648E-00	7.32821E-00	7.26648E-00	7.32821E-00	7.26648E-00	7.32821E-00
37	8.90219E-00	8.89629E-00	8.90219E-00	8.89629E-00	8.90219E-00	8.89629E-00	8.90219E-00	8.89629E-00
22	9.95014E-01	9.16007E-01	9.95014E-01	9.16007E-01	9.95014E-01	9.16007E-01	9.95014E-01	9.16007E-01
23	9.95811E-01	9.91490E-01	9.95811E-01	9.91490E-01	9.95811E-01	9.91490E-01	9.95811E-01	9.91490E-01
24	6.90624E-01	7.22812E-01	6.90624E-01	7.22812E-01	6.90624E-01	7.22812E-01	6.90624E-01	7.22812E-01
25	5.44960E-01	6.17111E-01	5.44960E-01	6.17111E-01	5.44960E-01	6.17111E-01	5.44960E-01	6.17111E-01
26	9.97600E-01	9.99312E-01	9.97600E-01	9.99312E-01	9.97600E-01	9.99312E-01	9.97600E-01	9.99312E-01
27	9.96320E-01	9.99011E-01	9.96320E-01	9.99011E-01	9.96320E-01	9.99011E-01	9.96320E-01	9.99011E-01
28	9.97810E-01	9.92792E-01	9.97810E-01	9.92792E-01	9.97810E-01	9.92792E-01	9.97810E-01	9.92792E-01
29	9.70703E-01	9.72263E-01	9.70703E-01	9.72263E-01	9.70703E-01	9.72263E-01	9.70703E-01	9.72263E-01
30	9.29466E-01	9.89169E-01	9.29466E-01	9.89169E-01	9.29466E-01	9.89169E-01	9.29466E-01	9.89169E-01
31	9.15678E-01	9.10321E-00	9.15678E-01	9.10321E-00	9.15678E-01	9.10321E-00	9.15678E-01	9.10321E-00
32	9.97931E-01	9.91010E-01	9.97931E-01	9.91010E-01	9.97931E-01	9.91010E-01	9.97931E-01	9.91010E-01
33	1.00000E-01	9.94811E-01	1.00000E-01	9.94811E-01	1.00000E-01	9.94811E-01	1.00000E-01	9.94811E-01
34	9.19986E-01	1.01212E-00	9.19986E-01	1.01212E-00	9.19986E-01	1.01212E-00	9.19986E-01	1.01212E-00
35	9.99818E-01	9.99538E-01	9.99818E-01	9.99538E-01	9.99818E-01	9.99538E-01	9.99818E-01	9.99538E-01
36	9.99862E-01	9.98770E-01	9.99862E-01	9.98770E-01	9.99862E-01	9.98770E-01	9.99862E-01	9.98770E-01
37	9.99912E-01	9.99203E-01	9.99912E-01	9.99203E-01	9.99912E-01	9.99203E-01	9.99912E-01	9.99203E-01

Fig. A.6 Out Put List-5.

MCODE	SST	SER	SIR	REGION = 1			SF1(I--1+2)
				WSTRK(I--1+0)	WSIR(I--1+1)	WSIR(I--1+2SF1(I--1+1))	
949 OLD	5.24262E+00	2.92119E-01	0.0	1.14438E+01	2.92119E-01	0.0	0.889687
	5.38133E+00	1.30848E-01	0.0	1.16071E+01	1.30848E-01	0.0	0.398515
940 OLD	1.50259E+00	3.35977E-01	0.0	1.40399E+01	3.35977E-01	0.0	0.937594
	1.20942E+00	1.42804E-01	0.0	1.42231E+01	1.42804E-01	0.0	0.398515
941 OLD	7.93991E+00	3.02761E-01	0.0	9.67935E+00	3.02761E-01	0.0	0.999971
	7.75761E+00	1.20558E-01	0.0	9.86135E+00	1.20658E-01	0.0	0.398515
923 OLD	6.94732E+00	2.27391E-01	0.0	9.29200E+00	2.27391E-01	0.0	0.754925
	6.84017E+00	1.200337E-01	0.0	9.39935E+00	1.200337E-01	0.0	0.398515
928 OLD	1.40863E+00	3.49445E-01	0.0	1.30490E+01	3.49445E-01	0.0	0.976649
	1.20178E+00	1.42589E-01	0.0	1.33019E+01	1.42589E-01	0.0	0.398515
6 OLD	2.72138E+00	0.0	2.75738E+00	1.95932E+00	2.60770E+00	1.49680E-01	1.000000
	2.14454E+00	0.0	2.14454E+00	2.57226E+00	2.86862E+00	5.77183E-02	0.800254
11 OLD	9.06252E+01	9.07530E+01	0.0	7.25641E+01	9.07530E+01	0.0	0.627640
	6.444808E+01	6.44068E+01	0.0	1.07677E+02	6.44086E+01	0.0	0.445444
26 OLD	7.40039E+01	7.31550E+01	0.0	4.52445E+00	7.31550E+01	0.0	1.000000
	2.89832E+01	2.80493E+01	0.0	4.89538E+00	2.80493E+01	0.0	0.383423
24 OLD	1.01196E+00	9.87102E+01	0.0	7.84643E+00	9.87102E+01	0.0	0.998971
	4.11888E+01	3.81030E+01	0.0	8.45220E+00	3.81030E+01	0.0	0.383411
28 OLD	2.22279E+00	2.22731E+00	0.0	1.59731E+01	2.22737E+00	0.0	0.999560
	8.79791E+01	8.54366E+01	0.0	1.73461E+01	8.54366E+01	0.0	0.383408
13 OLD	4.00052E+01	3.90347E+01	0.0	1.00437E+00	3.90347E+01	0.0	1.000000
	1.84806E+01	1.75094E+01	0.0	1.21962E+00	1.75098E+01	0.0	0.448269
42 OLD	2.04309E+00	3.97282E+01	0.0	4.61111E+00	3.97282E+01	0.0	1.000000
	1.79390E+00	1.53146E+01	0.0	4.65384E+00	1.53146E+01	0.0	0.383481
23 OLD	1.55949E+01	1.55402E+01	0.0	4.38204E+01	1.55402E+01	0.0	0.992360
	6.09421E+00	6.03639E+00	0.0	5.33220E+01	6.03639E+00	0.0	0.383511
103 OLD	1.26768E+01	0.0	1.35053E+00	7.81314E-01	1.20233E+00	1.155176E-01	1.000000
	1.26768E+01	0.0	1.39053E+00	7.81314E-01	1.20233E+00	1.82176E-01	1.000000
113 OLD	3.07177E+00	0.0	3.07176E+00	1.95211E+00	2.80688E+00	2.64674E-01	1.000000
	3.07177E+00	0.0	3.07175E+00	1.95318E+00	2.80688E+00	2.64874E-01	1.000000
29 OLD	1.45335E+00	1.44335E+00	0.0	7.87349E+00	1.44335E+00	0.0	1.000000
	1.45335E+00	1.44335E+00	0.0	7.87349E+00	1.44335E+00	0.0	1.000000
8 OLD	1.72280E+00	0.0	1.72280E+00	1.97719E+00	1.72280E+00	0.0	1.000000
	1.72280E+00	0.0	1.72280E+00	1.97719E+00	1.72280E+00	0.0	1.000000
924 OLD	2.31956E+00	4.92010E+01	0.0	1.43157E+01	4.92010E+01	0.0	1.000000
	2.31956E+00	4.92010E+01	0.0	1.43157E+01	4.92010E+01	0.0	1.000000
$\sigma_{\text{eff}} = \sum \sigma_{\text{eff},i}$				$f_{\text{eff},i+1}$	$f_{\text{eff},i+2}$	$f_{\text{eff},i+3}$	$f_{\text{eff},i+4}$

Fig. A.7 Out Put List-6.

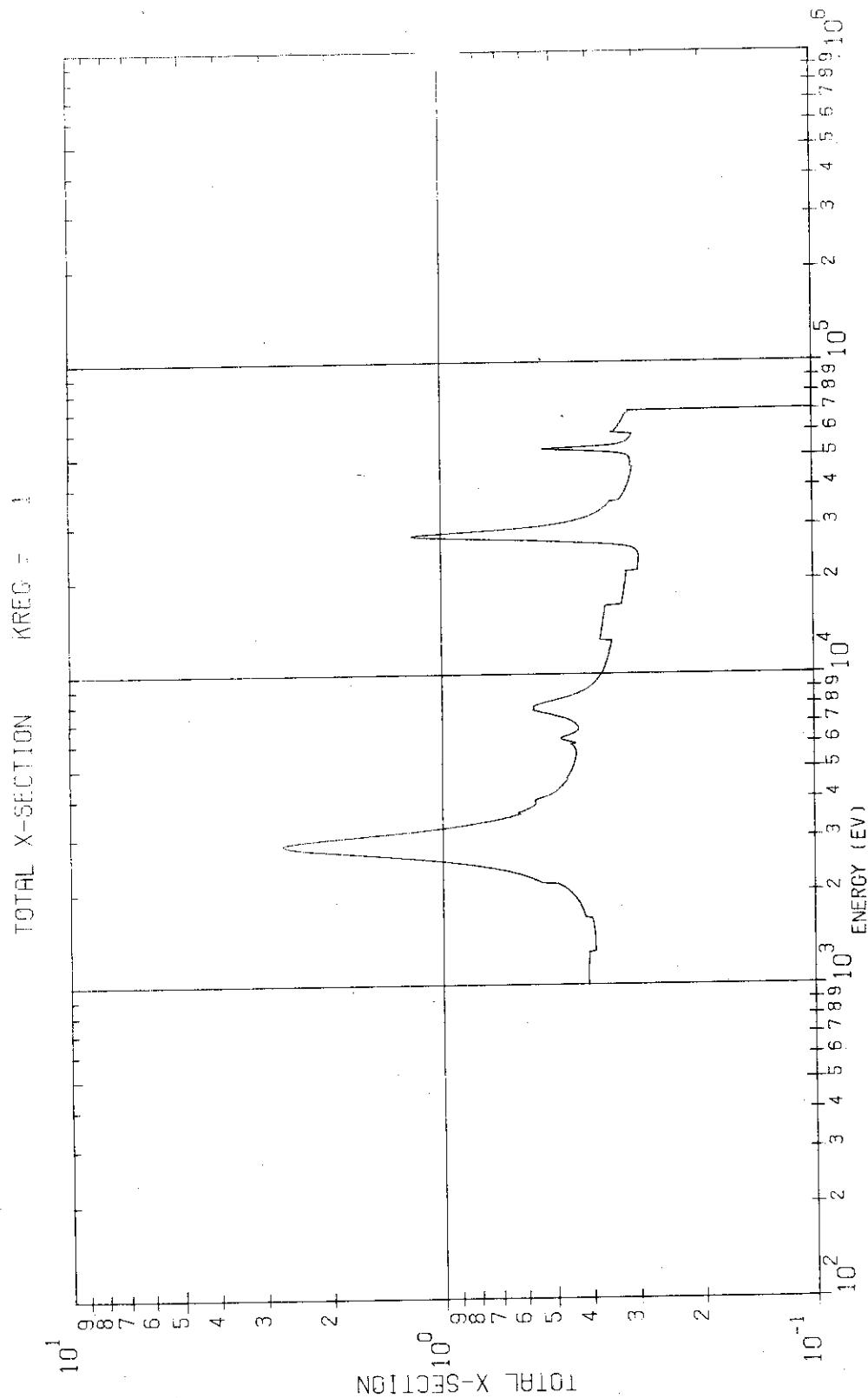


Fig. A.8 Plotter Out Put for Macro Σ , Cross Section.